

Titre: Analyse des données issues d'un système de perception par carte à puce d'une société de transport en commun : normalité des déplacements et influence des conditions météorologiques
Title:

Auteur: Élodie Descoimps
Author:

Date: 2011

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Descoimps, É. (2011). Analyse des données issues d'un système de perception par carte à puce d'une société de transport en commun : normalité des déplacements et influence des conditions météorologiques [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/597/>
Citation:

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/597/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Martin Trépanier
Advisors:

Programme: Génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ANALYSE DES DONNÉES ISSUES D'UN SYSTÈME DE PERCEPTION PAR
CARTE À PUCE D'UNE SOCIÉTÉ DE TRANSPORT EN COMMUN :
NORMALITÉ DES DÉPLACEMENTS ET INFLUENCE DES CONDITIONS
MÉTÉOROLOGIQUES

ELODIE DESCOIMPS

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)

JUIN 2011

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

**ANALYSE DES DONNÉES ISSUES D'UN SYSTÈME DE PERCEPTION
PAR CARTES À PUCE D'UNE SOCIÉTÉ DE TRANSPORT COLLECTIF :
NORMALITÉ DES DÉPLACEMENTS ET INFLUENCE DES
CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES**

Présenté par : DESCOIMPS Elodie

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M.BASSETTO Samuel, ing., Doct., président

M.TRÉPANIÉ Martin, ing., Ph.D., membre et directeur de recherche

M.AGARD Bruno, Doct., membre et codirecteur de recherche

M. CHAPLEAU Robert, ing., Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement mon directeur et mon co-directeur de recherche, Martin Trépanier et Bruno Agard, pour m'avoir permis de réaliser ce projet de maîtrise et de concrétiser mon double diplôme avec mon école d'ingénieur en France. Je voudrais leur adresser toute ma gratitude pour leur soutien, leur disponibilité et la grande autonomie qu'ils m'ont accordée ainsi que leur sens de l'humour et leurs conseils avisés. Initialement novice dans le secteur des transports collectifs, cette maîtrise a été très enrichissante personnellement car j'ai pu bénéficier de l'expérience polyvalente de mes directeurs dans le domaine du transport et j'ai également eu l'occasion de me familiariser avec le monde de la recherche qui m'était inconnu. Je remercie de plus l'École Polytechnique de Montréal en tant qu'institution universitaire de qualité permettant aux étudiants étrangers de participer aux multiples programmes de génie offerts.

J'adresse aussi mes remerciements à la Société de Transport de l'Outaouais, non seulement pour m'avoir donné accès à ses données de cartes à puce, mais aussi plus généralement pour sa collaboration régulière avec les chercheurs en transport de Polytechnique et leurs étudiants.

Enfin, je réserve une pensée toute particulière à ma famille qui m'a encouragé et m'a permis de croire en moi tout au long de mes études. Je remercie mes amis d'avoir été à mes côtés malgré l'éloignement et enfin, à tous ceux rencontrés au Québec, merci pour tous les bons moments passés ensemble qui ont rendu cette expérience québécoise exceptionnelle.

RÉSUMÉ

Le développement des transports en commun constitue de nos jours une préoccupation grandissante due entre autres à l'expansion urbaine, à la croissance démographique, à l'engorgement des réseaux de transport ou encore à la prise de conscience environnementale. La volonté d'étendre et d'améliorer les réseaux de transport collectif rend indispensable l'évolution des processus et des technologies mis en place par les agences de transport. La technologie de la carte à puce, dont l'utilisation s'amplifie dans de nombreux autres secteurs, fait partie inhérente de ces évolutions comme système de perception sur les réseaux de transport. En effet, cette technologie comporte de nombreux avantages pour les usagers principalement en termes de paiement et d'accès ainsi que pour les agences de transport notamment dans le cadre de la planification et de l'optimisation des opérations. Comparativement aux enquêtes origine-destination qui étaient la principale méthode de collecte de données sur les usagers, les cartes à puce permettent de recueillir d'immenses volumes de données collectées en continu sur l'ensemble du réseau de transport ce qui représente une nouvelle mine d'informations sur le comportement des utilisateurs.

L'essor de l'utilisation de la carte à puce étant récent, plusieurs études ont été menées dans le but de mesurer le potentiel de cette technologie et d'élaborer des méthodologies d'analyse à partir des données de cartes à puce. Cependant, il reste beaucoup à faire dans le domaine de la recherche quant à l'exploitation de ces données en vue d'analyser en profondeur le comportement des usagers des transports collectif et l'application des résultats dans les processus de planification et d'opération des réseaux. En ce sens, l'état de l'art présenté à la suite de l'introduction permet de mettre en évidence l'immense potentiel des données collectées grâce aux cartes à puce. Cette revue de littérature sert de référence aux études menées dans le cadre de cette maîtrise en confrontant dans un premier temps la technologie des cartes à puce aux autres méthodes de collecte de données en transport puis en exposant dans un second temps l'état des connaissances concernant les deux objectifs principaux de cette recherche.

Ainsi, les études présentées dans ce mémoire sont orientées autour de deux grands objectifs et réalisées à partir de presque six années de données de cartes à puce fournies par la Société de Transport de l'Outaouais (STO), une agence de transport de taille moyenne opérant sur la grande

ville de Gatineau (Québec) et dont le système de perception par cartes à puce est opérationnel depuis 2001. Le premier objectif, développé dans le Chapitre 4, consiste à caractériser la normalité des déplacements des usagers sur le réseau, c'est-à-dire à identifier les éventuelles tendances et autres phénomènes saisonniers et de quantifier ces variations de fréquentation. Cette première étude à caractère exploratoire aborde plusieurs axes d'analyses comme le type d'utilisateur, l'échelle temporelle, l'influence des vacances et des jours fériés ainsi que le mode de paiement. Cette partie de l'étude a notamment permis de mettre en évidence l'inégale répartition d'achalandage selon le type d'utilisateurs et d'identifier des comportements clairement différents entre ces classes d'utilisateurs. Il a été possible de montrer les différentes tendances, globalement à la hausse d'année en année, et les variations périodiques considérables principalement liées aux périodes vacances, à l'exception de la fréquentation des aînés. Le deuxième objectif, présenté dans le Chapitre 5, vise à étudier l'impact des conditions météorologiques sur l'achalandage quotidien du réseau. Globalement, l'influence des conditions météorologiques sur les déplacements s'avère ardue à identifier et à quantifier à l'échelle quotidienne exception faite des aînés qui sont les plus affectés. Cependant, les conditions météorologiques extrêmes, fortes pluies et tempêtes de neige, entraînent des baisses d'achalandage plus ou moins spectaculaires selon le type d'utilisateur. Ces deux études sont dépendantes car les résultats obtenus lors de la partie sur la normalité des déplacements sont amplement exploités lors de l'étude de l'impact des conditions météorologiques. La méthodologie adoptée, exposée lors du Chapitre 3, vise à l'obtention de résultats clairs et concrets et repose sur l'exploitation de la propriété désagrégée des données de cartes à puce, l'enrichissement avec des données calendaires et météorologiques, l'utilisation d'opérations statistiques élémentaires et des outils Excel.

Différentes perspectives d'utilisation des résultats apportés dans cette recherche ainsi que pour des études futures à partir de données de cartes à puce sont proposées. En effet, lors de prochaines recherches, il sera intéressant d'élargir l'étude grâce à la dimension spatiale disponible par les données de cartes à puce ainsi que de réduire l'échelle temporelle au niveau horaire. Concernant la STO, les conclusions formulées dans ce mémoire, approfondies selon les deux propositions de recherche précédentes, pourront être intégrées dans les outils de planification et utilisées pour développer le système de tarification quant aux différents types d'utilisateur.

ABSTRACT

Nowadays, the public transport development represents a growing concern. It can mostly be explained by the spreading of urbanization, the demographic growth, the congestion of transport networks and the environmental awareness. The willing to extend and to improve the public networks implies that transit agencies have to adapt their process and the technologies they use. Smart card technology is used in many other sectors than transport and is very promising in public transport. Indeed this technology includes many advantages for users with regard to payment and access convenience as well as for transit agencies for planning and operational optimization in particular. Compared to household travel surveys, smart card automated fare collection systems allow to gather continuously huge amounts of data on an entire public transport network. The generated databases represent a mine of information about users' behavior.

The smart card use in public transport is booming so several researches have been conducted to measure the potential of this technology and to work out analysis methodologies. However, the research effort must be carry on about smart card data analysis to improve users' behavior understanding and results implementation in planning and operation process, which is the main goal of this study. The literature review presented highlights the huge potential of smart card data and consitute a frame for the performed studies, confronting smart card technology to other data collection methods and then exposing current knowledge about the two main objectives of this research.

Thus the studies carried out in this research aim to reach two main goals and have been performed thanks to an almost six years of smartcard dataset collected by the Société de Transport de l'Outaouais (STO). This medium sized transit agency based in Gatineau, Québec, has an operational smartcard system since 2001. The first goal, presented in Chapter 4, aims to characterize ridership normality on the network which means to identify and quantify trends and other seasonal variations in ridership. This exploratory study goes into smart card data in depth in regard to the category of user, the temporal scale, the impact of holiday and public holiday and the method of payment. This part of the study gave prominence to unequal share of ridership between the different types of users and to detect several behaviors according to these types of

users. Overall increasing trends and periodic variations linked to holiday and public holiday have been identified, excepted for elder people. The second goal, presented in Chapter 5, aims to study the impact of weather on daily transit ridership. On the whole, weather implications on ridership are hard to identify and to quantify excepted for elder people who are the most affected. However, extreme weather like heavy rains and snowstorms implies more or less a significant drop in ridership depending on the type of user. These two studies are dependents because several results about ridership normality are taken in account in the analysis of weather impacts.

The methodology is presented in Chapter 3. It has been designed to produce clear and concrete results and is based on the disintegrated property of smart card data, on the enrichment of smart card data with calendar and meteorological data, on elementary statistical operations and Excel tools like pivot tables and graphs.

Several research proposals are made to use the results of the two studies and for upcoming researches. Indeed it would be interesting to widen the study to a spatial scale available with smart card data and to reduce the temporal scale to the hour level. As regards to STO, the results in-depth according to the two prior proposals could be integrated in the transit agency planning tools and use to improve the price setting system.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ	IV
ABSTRACT	VI
TABLE DES MATIÈRES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	XIII
LISTE DES FIGURES	XV
LISTE DES ANNEXES	XX
CHAPITRE 1 INTRODUCTION ET CONTEXTE	1
1.1 Problématique	1
1.2 Cas d'étude : la Société de Transport de l'Outaouais	3
1.3 Objectifs de la recherche	4
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	7
2.1 Méthodes de collecte de données en transport et évolution	8
2.1.1 Les enquêtes	9
2.1.2 Les comptages	10
2.1.3 La carte à puce	11
2.2 Point sur la technologie de la carte à puce	12
2.2.1 Rapide historique	12
2.2.2 Fonctionnement	14
2.2.3 Confidentialité	16
2.3 Utilisation des données de cartes à puce en transport en commun	19
2.3.1 Enquêtes versus cartes à puce	19

2.3.2	Perspectives liées aux cartes à puce pour les agences de transport	22
2.3.3	Avantages et inconvénients de la carte à puce	24
2.3.4	Enrichissement des données carte à puce	28
2.3.5	Expériences de commercialisation.....	30
2.4	Standards de déplacement sur les réseaux de transport	33
2.4.1	Tendances et saisonnalité.....	33
2.4.2	Influence des vacances et autres événements spéciaux	37
2.5	Conditions météorologiques et réseaux de transport	38
2.5.1	Variables et indicateurs liés aux conditions météorologiques	38
2.5.2	Différentes influences de la météorologie sur les transports	41
2.5.2.1	Variation de la demande	42
2.5.2.2	Sécurité sur le réseau de transport	47
2.5.2.3	Changement de mode de transport.....	48
2.6	Conclusion de la revue de littérature.....	49
CHAPITRE 3	MÉTHODOLOGIE.....	50
3.1	Présentation de la méthodologie de recherche	50
3.2	Présentation des données et des outils	51
3.2.1	Données de cartes à puce	51
3.2.1.1	Le système d'information	51
3.2.1.2	Le réseau et les différentes tarifications.....	54
3.2.1.3	Informations utiles sur les transactions des usagers de la STO	56
3.2.2	Données liées au calendrier.....	57
3.2.3	Données météorologiques	61
3.2.4	Outils d'analyse : Excel, tableaux et graphiques croisés dynamiques	63

3.3	Processus d'étude : de la normalité des déplacements à l'impact des conditions météorologiques	65
3.3.1	Normalité des déplacements : choix des axes d'étude et indicateurs pertinents.....	65
3.3.2	Conditions météorologiques : choix des axes d'étude et indicateurs pertinents.....	66
3.3.3	Construction des tableaux et des graphiques croisés dynamiques	67
CHAPITRE 4	PREMIÈRE ÉTUDE : NORMALITÉ DES DÉPLACEMENTS	68
4.1	Étude quotidienne	68
4.1.1	Achalandage total.....	68
4.1.2	Achalandage par type de titre.....	71
4.1.2.1	Mise en évidence des différences d'achalandage	71
4.1.2.2	Adultes	74
4.1.2.3	Étudiants	77
4.1.2.4	Ainés	80
4.2	Comparaison des jours de la semaine	82
4.2.1	Achalandage total.....	82
4.2.2	Achalandage par type de titre.....	86
4.2.2.1	Adultes	86
4.2.2.2	Étudiants	90
4.2.2.3	Ainés	93
4.3	Achalandage des jours fériés et des vacances	95
4.3.1	Considérations sur le calendrier.....	95
4.3.2	Visualisation de l'impact sur l'achalandage par type de titre	97
4.3.1	Impact des jours fériés	102
4.3.2	Impact des vacances.....	104

4.4	Influence du paiement bancaire	107
4.4.1	Adultes	107
4.4.2	Ainés	112
4.5	Conclusions sur la normalité des déplacements.....	114
CHAPITRE 5	DEUXIÈME ÉTUDE : INFLUENCE DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES	116
5.1	Étude des différentes variables météorologiques.....	116
5.1.1	Mise en évidence par trois exemples	116
5.1.2	Températures.....	120
5.1.3	Pluie	123
5.1.4	Neige	124
5.1.5	Vent.....	126
5.1.6	Conclusions sur la pertinence de l'étude sur les conditions météorologiques.....	127
5.2	Adaptation des données d'achalandage d'après la normalité des déplacements	127
5.3	Analyse selon des variables météorologiques binaires	129
5.3.1	Températures.....	131
5.3.2	Pluie	136
5.3.3	Neige	139
5.3.1	Conclusion de l'approche binaire	141
5.4	Analyse de l'achalandage selon des variables météorologiques catégorisées	141
5.4.1	Températures.....	142
5.4.2	Pluie	145
5.4.3	Neige	147
5.4.1	Conclusion de l'approche par catégories	149

5.5	Analyse de l'achalandage des jours remarquables.....	150
5.5.1	Pluie	151
5.5.2	Neige	154
5.5.3	Conclusion de l'approche selon les conditions extrêmes.....	156
CHAPITRE 6	CONCLUSION.....	157
RÉFÉRENCES	161

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 - Évolution de la carte à puce avant généralisation.....	13
Tableau 2-2 - Quelques expériences de commercialisation de la carte à puce en transport et caractéristiques	31
Tableau 2-3 - Tendances à différents niveaux temporels (Keay & Simmonds, 2005)	34
Tableau 2-4 - Standards de déplacement par type d'usager (Données STO)	36
Tableau 2-5 - Catégories de variables météorologiques et leurs implications (Handman, 2004)..	39
Tableau 2-6 - Principaux résultats de la littérature sur les variations de demande liées à la météorologie sur les réseaux de transport	44
Tableau 3-1 - Système de tarification simplifié de la STO	55
Tableau 3-2 - Jours fériés au Québec et en Ontario	58
Tableau 4-1 - Répartition de l'achalandage par type de titre par année	72
Tableau 4-2 - Comparaison entre les jours de la semaine par année	85
Tableau 4-3 - Comparaison entre les jours de la semaine par année par type de titre adulte	88
Tableau 4-4 - Comparaison entre les jours de la semaine par année par type de titre étudiant	91
Tableau 4-5 - Comparaison entre les jours de la semaine par année pour les aînés	94
Tableau 4-6 - Vacances déterminées à partir des données de cartes à puce	96
Tableau 4-7 - Variations d'achalandage engendrées en moyenne par jour férié selon le type d'usager.....	103
Tableau 4-8 - Variations d'achalandage engendrées en moyenne par les vacances selon le type d'usager.....	106
Tableau 5-1 - Exclusions de données lors de l'approche binaire (N/A : Non Applicable)	130
Tableau 5-2 - Répartition des jours selon la valeur de TEMPBINHIV et TEMPBINEST	132
Tableau 5-3 - Répartition des jours selon la valeur de PLUIEBIN.....	137

Tableau 5-4 - Répartition des jours selon la valeur de NEIGEBIN	139
Tableau 5-5 - Répartition des jours selon la valeur de la variable TMOYCAT	143
Tableau 5-6 – Répartition des jours par catégories pendant les vacances des étudiants	144
Tableau 5-7 - Répartition des jours selon la valeur de la variable PLUIECAT	146
Tableau 5-8 - Répartition des jours selon la valeur de la variable NEIGECAT	148
Tableau 5-9 - Jours critiques et jours de référence pour la pluviosité.....	151
Tableau 5-10 - Variations d'achalandage entre jour critique et jour de référence pour la pluie ..	152
Tableau 5-11 - Jours critiques et jours de référence pour les chutes de neige	154
Tableau 5-12 - Variations d'achalandage entre jour critique et jour de référence pour la neige..	155
Tableau A-1 - Méthodes de collecte de données rencontrées dans les publications.....	167
Tableau C - 1 - Achalandage total quotidien moyen par mois et par année	172
Tableau C-2 - Achalandage quotidien moyen pour les titres adultes par mois et par année	172
Tableau C-3 - Achalandage quotidien moyen pour les titres étudiants par mois et par année	173
Tableau C-4 - Achalandage quotidien moyen pour les aînés par mois et par année.....	174
Tableau C-5 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année	174
Tableau C-6 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et année par titres adultes....	175
Tableau C-7 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et année par titres étudiants.	176
Tableau C-8 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et année pour les aînés	176
Tableau D-1 - Dates des jours fériés au Québec et en Ontario	177
Tableau D-2 - Calculs des variations d'achalandage des jours fériés.....	178
Tableau D-3 - Calculs des variations d'achalandage des vacances	180
Tableau E-1 - Moyennes mensuelles annuelles pour les températures, la pluie et la neige.....	181

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 - Différents types de cartes à puce ¹³	15
Figure 2-2 - Définition d'un itinéraire pour un trajet lié (Chu & Chapleau, 2008)	29
Figure 3-1 - Représentation schématique de la méthodologie de recherche	50
Figure 3-2 - Diagramme fonctionnel du système de paiement par carte à puce de la STO	52
Figure 3-3 - Modèle-objet du système de perception par cartes à puce de la STO sur la période d'étude	53
Figure 3-4 – Champs extraits des données de cartes à puce de la STO	56
Figure 3-5 - Champs liés au calendrier	61
Figure 3-6 - Localisation de la station météorologique de l'aéroport international d'Ottawa	62
Figure 3-7 – Champs liés à la météo	63
Figure 3-8 - Outils Excel : Tableaux et graphiques croisés dynamiques	64
Figure 3-9 – Exemple de TCD crée pour l'étude de la normalité des déplacements.....	67
Figure 4-1 - Achalandage quotidien total par date de données	69
Figure 4-2 - Profil de l'achalandage total quotidien moyen par mois et par année	70
Figure 4-3 - Achalandage total quotidien moyen par mois et par année.....	70
Figure 4-4 - Répartition globale de l'achalandage entre les différents types de titre	72
Figure 4-5 - Répartition de l'achalandage par type de titre par année.....	72
Figure 4-6 - Achalandage quotidien moyen par type de titre par mois et par année	73
Figure 4-7 - Achalandage quotidien des titres adultes par date de données	74
Figure 4-8 - Fréquentation du réseau par type de titres adultes	75
Figure 4-9 - Achalandage quotidien moyen pour les titres adultes par mois et par année.....	76
Figure 4-10 - Achalandage quotidien moyen pour les adultes express par mois et par année.....	76
Figure 4-11 - Achalandage quotidien des titres étudiants par date de données	77

Figure 4-12 - Répartition des étudiants avant modification	78
Figure 4-13 - Répartition des étudiants après modification	78
Figure 4-14 - Achalandage quotidien moyen pour les titres étudiants par mois et par année	79
Figure 4-15 - Achalandage quotidien des aînés par date de données.....	80
Figure 4-16 Achalandage quotidien moyen des aînés par mois et par année	81
Figure 4-17 - Achalandage quotidien des aînés de 2004 à 2007	82
Figure 4-18 - Achalandage quotidien des aînés de 2008 à 2009.....	82
Figure 4-19 - Répartition de l'achalandage quotidien moyen entre la semaine et les jours de week-end	83
Figure 4-20 - Répartition de l'achalandage entre semaine et week-end des différents types de titre	83
Figure 4-21- Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année	84
Figure 4-22 - Répartition de l'achalandage quotidien moyen pour les différents titres adultes	86
Figure 4-23 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et année des adultes réguliers.....	87
Figure 4-24 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et année des adultes express....	87
Figure 4-25 - Achalandage quotidien moyen par jour de.....	87
Figure 4-26 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par mois pour les adultes....	89
Figure 4-27 - Répartition de l'achalandage quotidien moyen pour les titres étudiants	90
Figure 4-28 – Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et année des étudiants du primaire et secondaire	90
Figure 4-29 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et année des étudiants des collèges et universités.....	91
Figure 4-30 – Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et mois des étudiants	92
Figure 4-31 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année des aînés.....	93
Figure 4-32 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par mois des aînés	94

Figure 4-33 - Influence des vacances et jours fériés sur l'achalandage des adultes en 2006	98
Figure 4-34 - Influence des vacances et jours fériés sur l'achalandage des étudiants du primaire et secondaire en 2006	99
Figure 4-35 - Influence des vacances et jours fériés sur l'achalandage des étudiants des collèges et universités en 2006.....	101
Figure 4-36 - Achalandage des adultes réguliers payant par paiement direct et par paiement bancaire	108
Figure 4-37 - Tendances liées au mode de paiement pour les adultes réguliers	109
Figure 4-38 - Achalandage des adultes express payant par paiement direct et par paiement bancaire	110
Figure 4-39 - Achalandage des adultes interzone payant par paiement direct et par paiement bancaire	110
Figure 4-40 - Tendances liées au mode de paiement pour les adultes express	111
Figure 4-41 - Tendances liées au mode de paiement pour les adultes interzone	111
Figure 4-42 - Prolongement de la tendance pour les adultes express et les adultes interzone.....	112
Figure 4-43 - Achalandage des aînés payant par paiement direct et par paiement bancaire.....	113
Figure 4-44 - Tendances liées au mode de paiement pour les aînés	113
Figure 5-1 - Achalandage total fin novembre à début décembre 2007	117
Figure 5-2 - Conditions météo fin novembre à début décembre 2007	117
Figure 5-3 - Achalandage total courant janvier 2006.....	118
Figure 5-4 - Conditions météo courant janvier 2006	118
Figure 5-5 - Achalandage total de janvier 2009	119
Figure 5-6 - Achalandage des aînés en janvier 2009	119
Figure 5-7 - Conditions météorologiques de la mi-janvier 2009	120
Figure 5-8 - Températures quotidiennes maximales, minimales et moyennes	121

Figure 5-9 - Températures moyennes mensuelles sur la période d'étude.....	122
Figure 5-10 - Pluviosité par date de données sur l'ensemble de la période d'étude	123
Figure 5-11 - Somme des pluviosités par mois sur toute la période d'étude	124
Figure 5-12 - Chutes de neige d'octobre à avril sur toute la période d'étude	125
Figure 5-13 - Chutes de neige totales par mois d'octobre à avril	126
Figure 5-14 - Vitesse du vent par date de données sur toute la période d'étude	126
Figure 5-15 - Données ajustées pour l'année 2008-2009 chez les adultes	129
Figure 5-16 - Données ajustées pour l'année 2008-2009 chez les aînés	129
Figure 5-17 - Données ajustées pour 2008-2009 chez les étudiants du primaire et secondaire...	129
Figure 5-18 - Données ajustées pour 2008-2009 chez les étudiants des collèges et universités..	129
Figure 5-19 - Période froide : variable binaire de température pour les adultes	133
Figure 5-20 - Période chaude : variable binaire de température pour les adultes	133
Figure 5-21 - Période froide : variable binaire de température pour les primaires-secondaires ..	134
Figure 5-22 - Période chaude : variable binaire de température pour les primaires-secondaires	134
Figure 5-23 - Vacances de Noël et d'hiver : variable binaire de température des primaires- secondaires	134
Figure 5-24 - Vacances d'été : variable binaire de température pour les primaires-secondaires .	134
Figure 5-25 - Période froide : variable binaire de température pour les collèges-universités	135
Figure 5-26 - Période chaude : variable binaire de température pour les collèges-universités....	135
Figure 5-27 - Vacances de Noël : variable binaire de température pour les collèges-universités	135
Figure 5-28 - Vacances d'été : variable binaire de température pour les collèges-universités....	135
Figure 5-29 - Période froide : variable binaire de température pour les aînés	136
Figure 5-30 - Période chaude : variable binaire de température pour les aînés	136
Figure 5-31 - Variable binaire concernant la pluviosité pour les adultes.....	137

Figure 5-32 - Variable binaire concernant la pluviosité pour les primaires-secondaires	138
Figure 5-33 - Variable binaire concernant la pluviosité pour les collèges-universités	138
Figure 5-34 - Variable binaire concernant la pluviosité pour les aînés	138
Figure 5-35 - Variable binaire concernant la neige pour les adultes	140
Figure 5-36 - Variable binaire concernant la neige pour les primaires-secondaires	140
Figure 5-37 - Variable binaire concernant la neige pour les collèges-universités	140
Figure 5-38 - Variable binaire concernant la neige pour les aînés	141
Figure 5-39 - TMOYCAT pour les adultes	143
Figure 5-40 - TMOYCAT pour les étudiants	143
Figure 5-41 – TMOYCAT pendant les vacances des étudiants	144
Figure 5-42 - TMOYCAT pour les aînés	145
Figure 5-43 - TMOYCAT pour les aînés par période	145
Figure 5-44 - PLUIECAT pour les adultes	146
Figure 5-45 - PLUIECAT pour les étudiants	146
Figure 5-46 - PLUIECAT pour les aînés	147
Figure 5-47 - NEIGECAT pour les adultes	148
Figure 5-48 - NEIGECAT pour les étudiants	148
Figure 5-49 - NEIGECAT pour les aînés	149
Figure 5-50 - Variations moyennes sur les jours critiques et jours extrêmes pour la pluie	153
Figure 5-51 - Variations moyennes sur les jours critiques et jours extrêmes pour la neige	156
Figure B-1 - Plan complet du réseau de la STO et ses différents secteurs	171

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A	MÉTHODES DE COLLECTE UTILISÉES DANS LA LITTÉRATURE....	167
ANNEXE B	PLAN DU RÉSEAU DE LA STO.....	171
ANNEXE C	TABLEAUX DE DONNÉES CONCERNANT L'ÉTUDE DE LA NORMALITÉ DES DÉPLACEMENTS.....	172
ANNEXE D	INFLUENCE DES VACANCES ET DES JOURS FÉRIÉS	177
ANNEXE E	CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES : APPROCHE BINAIRE	181

CHAPITRE 1 INTRODUCTION ET CONTEXTE

1.1 Problématique

Le développement des transports en commun constitue de nos jours une préoccupation grandissante. À partir de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, le secteur de l'industrie automobile a été marqué par un grand essor qui a eu tendance à banaliser l'utilisation de la voiture, historiquement synonyme de liberté et représentative de la hausse du niveau de vie des ménages. Aujourd'hui, le contexte urbain, économique et social tend à encourager un changement de politique généralisé au profit du transport en commun. La croissance de la population urbaine, la tendance à l'étalement des agglomérations, l'augmentation de la congestion routière, les coûts engendrés par la possession d'une automobile notamment avec l'envolée du prix du carburant et la composante environnementale devenue incontournable font partie de la longue liste de facteurs engendrant un regain d'intérêt pour les transports en commun. Les enjeux environnementaux sont particulièrement intéressants car, bien que la pression des activités humaines sur l'environnement soit connue depuis longtemps, ils constituent une préoccupation mondiale relativement récente motivant des changements de ligne de conduite collectifs et individuels. Ainsi, les municipalités et les agences de transport doivent établir et mettre en œuvre des solutions leur permettant de répondre à la demande de déplacement tout en respectant les exigences de qualité de service et de protection de l'environnement.

Une hausse d'achalandage sur les réseaux de transport est observée, ce qui implique un travail continu sur la planification et les opérations pour répondre à la demande et engendrer des retombées économiques satisfaisantes. En ce sens, la recherche dans le domaine des transports est très active, entre autres en ce qui concerne les études de comportements des usagers, l'optimisation des réseaux de transport basée sur l'analyse des trajets des utilisateurs et le développement de nouvelles méthodologies permettant d'exploiter et d'analyser l'ensemble des données disponibles. De nombreuses publications sont faites sur le sujet des transports, couvrant un spectre d'axes d'étude très étendu. Un état de l'art sera présenté afin de donner une vision la plus exhaustive possible quant aux connaissances sur le sujet de ce mémoire et constituant un support indispensable à l'étude réalisée par la suite. Dans la plupart des études réalisées, les méthodes développées sont appliquées à des cas concrets, ce qui nous amène alors à aborder la

question des données utilisées pour ces analyses, c'est-à-dire les informations disponibles sur les usagers des réseaux de transport.

Depuis la seconde moitié des années 90, l'utilisation de la carte à puce devient un moyen de plus en plus populaire pour la perception dans les transports en commun. En effet, les cartes à puces offrent une alternative viable et bénéfique aux transactions habituellement réalisées grâce aux supports papier (Blythe, 2004). Historiquement et encore aujourd'hui, les données sur les usagers et l'achalandage sur les réseaux de transport étaient collectées grâce à des enquêtes auprès des utilisateurs réels et potentiels et via des comptages effectués directement sur les lignes de transport notamment pour les bus. Les types d'enquêtes sont multiples et permettent de récolter des informations sur les usagers mais ces informations sont le plus souvent subjectives. Ce n'est pas le cas des informations recueillies lors d'une transaction par carte à puce. La carte à puce est vue par certains auteurs comme une alternative aux enquêtes, jugées trop coûteuses et peu fiables (Utsunomiya, Attanucci, & Wilson, 2006) alors que d'autres concluent que ces deux types de collecte de données sont complémentaires (Bagchi & White, 2004).

Bien que la tendance à la généralisation de la carte à puce soit récente, cette technologie existe depuis plus de 40 ans. L'idée d'une carte en plastique munie d'une puce a été brevetée par deux inventeurs allemands, Dethloff et Grötrupp, en 1968 (Shelfer & Procaccino, 2002). Nous utilisons aujourd'hui la carte à puce quasiment quotidiennement pour de multiples applications : achats, remboursement des soins, utilisation des transports... En plus de faciliter les transactions, la carte à puce permet de collecter une foule d'informations qui n'étaient précédemment pas disponibles. Pour ces deux principales raisons, les compagnies de transport s'intéressent de manière croissante à cette technologie qui a déjà été implantée sur de nombreux réseaux à travers le monde. La perspective d'utiliser les données de carte à puce à des fins de planification stratégique, tactique et opérationnelle (Trépanier, Barj, Dufour, & Poilpré, 2004) ne peut être ignorée par les agences de transport. Toutefois, les restrictions inhérentes à la confidentialité limitent l'utilisation des données personnelles qui pourraient être obtenues via les cartes à puce. Il est cependant concevable que la recherche sur la vie privée et la sécurité permette dans un futur proche de dépasser ces préoccupations légales et éthiques (Shelfer & Procaccino, 2002).

L'accès à d'importants volumes de données sur de longues périodes de temps obtenus grâce aux cartes à puce donne de nouvelles pistes pour étudier la fréquentation des transports en commun. Il

serait intéressant d'identifier les standards de déplacement, de discerner les variations naturelles d'achalandage telles que saisonnalités, phénomènes cycliques, tendances... De plus, il est naturel de penser que les utilisateurs d'un réseau de transports voient leur comportement influencé par différents facteurs. On peut penser à plusieurs de ces facteurs : conditions météorologiques, travaux, événements spéciaux tels que les événements culturels ou sportif, manifestations, grèves ... Est-il possible d'identifier et de quantifier l'influence de ces facteurs sur l'achalandage des réseaux de transport grâce à l'étude des données carte à puce ? L'aboutissement idéal de cette étude serait d'être capable de prévoir le comportement des usagers et d'anticiper les variations d'achalandage afin d'en tenir compte dans la planification et les opérations.

Dans le cadre de ce mémoire, les données carte à puce utilisées ont été rendues disponibles par la Société de Transport de l'Outaouais (STO). L'agence de transport est donc présentée à la suite afin de fixer le contexte de l'étude.

1.2 Cas d'étude : la Société de Transport de l'Outaouais

La STO est une agence de transport de taille moyenne opérant sur la grande ville de Gatineau, Québec, incluant les secteurs de Hull, Aylmer, Gatineau et Masson-Angers, qui fait face à la capitale du Canada, Ottawa, située de l'autre côté de la rivière des Outaouais. Un service limité est également assuré vers Cantley, Chelsea et Buckingham. La Commission de Transport de la Communauté Régionale de l'Outaouais (CTCRO) a vu le jour en 1971, remplaçant le service de transport en commun précédemment assuré par le secteur privé transportant une clientèle réduite. Elle devient la STO en 1991¹. Cette agence opère aujourd'hui sur un territoire de 589 km² grâce à une flotte de presque 290 autobus répartis sur 62 lignes (47 lignes régulières, 13 lignes express et 2 lignes interzone) et desservant une population de plus de 262 000 habitants. L'achalandage de ce réseau augmente régulièrement, avec une fréquentation qui est passée de 13,9 millions de passagers en 2000 à 19,3 millions en 2008.² La région fait régulièrement l'objet d'importantes

¹ Société de Transport de l'Outaouais. Historique. Consulté le 28 septembre 2010. Tiré de http://www.sto.ca/a_propos/historique_f.html

² Société de Transport de l'Outaouais. Données et statistiques de la STO. Consulté le 28 septembre 2010. Tiré de http://www.sto.ca/a_propos/donnees_statistiques_f.html

enquêtes Origine-Destination ainsi que d'études sur les comportements de déplacement de ses usagers à partir de ses données de cartes à puce (Morency, Trépanier, & Agard, 2007; Trépanier, et al., 2004; Trépanier, Morency, & Blanchette, 2009; Trépanier, Tranchant, & Chapleau, 2007)

En effet, la STO est un des principaux protagonistes canadiens en ce qui concerne le système de perception par carte à puce en transport en commun. L'annonce de la mise en place d'un système informatisé de validation des titres sur l'ensemble du réseau de la STO date de 1997. Le système est opérationnel depuis 2001 et concerne l'ensemble des détenteurs de titre mensuel, soit environ 82% des usagers (plus de 28 000 cartes à puce valides en circulation). Les données collectées grâce à ce système de perception ont une nature temporelle et spatiale. En effet, chaque autobus de la STO est équipé d'un système GPS (Global Positioning System). Ainsi, lors de la validation d'un titre, l'arrêt et la ligne, associés à la date et l'heure, sont enregistrés dans une base de données. La STO suivant une procédure hautement sécurisée en ce qui concerne la confidentialité des données, les informations carte à puce sont entièrement anonymes.

La politique actuelle de la STO est définie dans son plan stratégique 2005-2015. Ce plan constitue une référence à la planification des grands projets que la STO compte réaliser dans un avenir proche. La STO prévoit un achalandage annuel de plus de 21 millions de déplacements en 2015 ce qui implique que l'agence doit continuellement adapter le service et entreprendre des actions afin de bonifier et à développer le service d'autobus et les infrastructures destinées à la collectivité, planification dans laquelle les aspects durable et écologique prennent une place majeure³.

1.3 Objectifs de la recherche

Ce mémoire est construit autour de deux objectifs principaux, qui constituent chacun une partie. La première partie consistera en une étude plutôt générale des données de carte à puce mises à notre disposition par la STO. La partie suivante sera orientée vers l'analyse de l'impact des conditions météorologiques sur le comportement des usagers.

³ Société de Transport de l'Outaouais. Du plan intégré au plan stratégique 2005-2015. Consulté le 28 septembre 2010. Tiré de http://www.sto.ca/a_propos/plan_strategique_f.html.

Le premier objectif de l'étude consiste à l'identification de la normalité des comportements des usagers du réseau de la STO, c'est-à-dire les profils de fréquentation présentant les variations habituelles d'achalandage. Pour mener cette étude, l'agence de transport nous a fourni presque six ans de données, soit de janvier 2004 à novembre 2009. Cette base de données nous permettra de mener une étude sur une longue période de temps, ce qui nous permettra d'identifier les tendances si elles existent. Six années de données devraient de plus nous permettre d'établir les éventuelles saisonnalités et les variations remarquables de la fréquentation. Les axes d'étude potentiels sont nombreux. En effet, chaque enregistrement de la base de données correspond à une transaction effectuée par un usager, indiquant la date et l'heure de la montée, le numéro d'identification de la carte, le type de titre, la ligne et l'arrêt de la transaction. Ainsi, on peut envisager de caractériser la fréquentation au niveau spatial et temporel. Le type de titre rend possible l'analyse par type d'usagers présentant des activités différentes et qui n'ont donc vraisemblablement pas le même comportement sur le réseau. Bien que les informations sur la destination et le but du trajet ainsi que sur l'usager ne soient pas disponibles, nous tenterons d'expliquer les variations d'achalandage observées.

Le deuxième objectif traité dans ce mémoire consiste à étudier l'impact des conditions météorologiques sur l'achalandage du réseau de transport de la STO. Nous avons pu constater que le sujet, bien qu'abordé dans quelques publications comme nous le verrons dans l'état de l'art, n'avait pas été traité de manière très poussée. Quelque soit le moyen de transport, on peut raisonnablement penser que les conditions météorologiques ont un impact sur les déplacements des individus. En effet, n'avons-nous pas tendance à annuler ou à remettre à plus tard certaines activités en raison de conditions météorologiques remettant en cause le confort ou la sécurité ? Ne préférons-nous pas choisir la voiture pour éviter de marcher et d'attendre pour prendre l'autobus par temps froid ou pluvieux ? Au contraire, ne choisirait-on pas d'emprunter les transports en commun par temps neigeux en raison de l'état de la route ? Les exemples de situations similaires auxquels on pourrait penser sont nombreux et sont susceptibles d'influencer le trafic sur les différents modes de transport. Nous avons donc cherché lors de notre étude à mettre en évidence l'impact potentiel de ces phénomènes sur l'achalandage et à le quantifier. Selon la région où est implanté le réseau de transport, la capacité de prévoir les répercussions des conditions météorologiques pourrait être non négligeable.

Les recherches rapportées dans ce mémoire ont été menées dans le but d'étoffer les connaissances sur le comportement des usagers d'un réseau de transport en commun en y ajoutant notamment la composante météorologique. Le Canada fait partie des pays présentant des conditions météorologiques pouvant être très difficiles, en particulier en ce qui concerne les températures et l'enneigement, ce qui implique qu'une analyse rigoureuse de l'impact de la météo pourrait être intéressante dans le cadre de la planification et la gestion des opérations en transport en commun.

Ainsi, suite à cette introduction et présentation du contexte général de l'étude, un état de l'art sera présenté pour donner un cadre à la recherche réalisée notamment sur les données de transport et sur le comportement de déplacement des usagers des transports collectifs, en général et relativement aux conditions météorologiques. La revue de littérature permet également de se faire une idée concrète des connaissances dans le domaine, des multiples recherches réalisées et des enjeux pour le développement des transports en commun. Dans la partie suivante, la méthodologie adoptée au cours de ce projet de recherche sera détaillée pour introduire les deux derniers chapitres présentant les résultats et analyses menés sur les deux objectifs énoncés précédemment.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre présente un état de l'art élargi visant à fixer un cadre au sujet de recherche traité dans ce mémoire. Nous rappellerons les publications et ouvrages pertinents parus dans le cadre de l'étude de données en transport en commun. Cette revue de littérature vise à couvrir différents axes d'étude liés à l'achalandage des transports en commun, en particulier grâce à la collecte de données par carte à puce. L'utilisation de la technologie carte à puce restant relativement récente, certaines des études citées dans cette revue de littérature se basent sur des données issues d'autres formes de collectes. En deuxième partie de cet état de l'art, nous porterons une attention particulière à l'étude des données de transport relativement aux conditions météorologiques. Les articles cités ne traitent pas exclusivement de l'impact des phénomènes climatiques sur l'achalandage des transports en commun. En effet, certaines études menées sur l'influence des conditions météorologiques sur le trafic routier sont intéressantes pour notre étude en ce qui concerne les indicateurs ainsi que les méthodes utilisées.

La section 2.1 introduit la revue de littérature en faisant un retour sur les différentes méthodes de collecte de données en transport et leurs évolutions. La section 2.2 porte sur la technologie des cartes à puce, grâce à laquelle les données utilisées dans cette étude ont été collectées. À la suite d'un bref historique sur la carte à puce, le principe de fonctionnement de cette technologie est exposé ainsi qu'un examen de la question relative à la confidentialité des données et du respect de la vie privée de l'utilisateur, qui constitue une barrière à l'exploitation de cette technologie à des fins d'étude. Dans la continuité de ce point sur la technologie, la section 2.3 traite des principales études menées grâce aux données de carte à puce depuis l'implémentation de ce mode de collecte. Après une confrontation des deux méthodes de collecte que sont les enquêtes et les cartes à puce sont présentées les perspectives de l'utilisation de la carte à puce pour les agences de transport. Ensuite, les avantages et inconvénients inhérents à la technologie carte à puce sont exposés ainsi que les possibilités d'enrichissement des données collectées. Enfin, cette section s'achève sur un inventaire de quelques expériences de commercialisation du système de perception par carte à puce sur les réseaux de transport en commun à travers le monde. La section 2.4 aborde les profils d'achalandage « normaux » identifiés par les auteurs tels que la saisonnalité, les tendances ainsi que l'impact des vacances et autres événements spéciaux du

calendrier. Ces variations seront par la suite désignées par l'expression « normalité d'achalandage ». Enfin, la section 2.5 développe les impacts des conditions météorologiques constatés durant les recherches antérieures sur les réseaux de transport.

2.1 Méthodes de collecte de données en transport et évolution

En transport comme dans tout autre domaine, les études de cas menées afin d'illustrer ou de mettre en œuvre les différentes méthodologies s'appuient sur des données réelles. Or, la collecte des données est loin d'être une étape triviale. Les résultats des études dépendant directement de la qualité des données utilisées, la collecte constitue une étape cruciale à laquelle il faut porter beaucoup d'attention. Un nombre non négligeable de facteurs peut remettre en cause la qualité et la fiabilité des données collectées, facteurs dont il faut tenir compte dans les interprétations des résultats obtenus, souvent sous forme de limitations. Le choix des indicateurs est essentiel afin de rassembler les informations nécessaires à l'étude. Le volume de données collectées et le choix de la population concernée sont par exemple des facteurs importants pour que les résultats soient représentatifs au vu des objectifs visés. Selon la même logique, dans le cas d'une étude à dimension temporelle, la période de temps considérée doit être adaptée aux besoins de l'étude. Dans le cas de données collectées au moyen d'enquêtes, il existe un facteur lié à l'objectivité et à la précision des informations fournies par les répondants.

Dans la sphère qui nous intéresse, celle des transports, les méthodes de collecte sont multiples. De plus, les méthodes évoluent, notamment grâce aux avancées technologiques, et permettent de recueillir, de stocker et de traiter des volumes de données toujours plus importants. Ces progrès technologiques imposent un besoin croissant de données approfondies présentant notamment une granularité plus fine (Trépanier, et al., 2009). La carte à puce et les différents Systèmes de Transport Intelligent (STI) font partie de ces avancées technologiques.

À la suite sont présentés les principaux modes de collecte de données rencontrés dans la littérature. On peut distinguer trois catégories de données qui sont les résultats d'enquêtes, les données obtenues par comptage et les données récoltées grâce aux cartes à puce. Le Tableau A - 1 présenté à l'ANNEXE A (page 167) rassemble des publications pour lesquelles les auteurs ont appliqué leurs méthodes à des données réelles en précisant l'objectif principal de la recherche ainsi que la source, le mode de collecte et l'étalement temporel des données.

2.1.1 Les enquêtes

Aujourd'hui, les enquêtes restent l'un des modes de collecte de données les plus répandus en transport pour étudier les comportements des usagers des différents réseaux (Trépanier, et al., 2009). En effet, elles permettent de rassembler une foule d'informations notamment sur les individus (genre, âge, condition sociale et professionnelle, revenus...), les caractéristiques des ménages (situation matrimoniale, enfants, résidence...), les caractéristiques des déplacements réalisés, les différents modes de transport utilisés ainsi que les déplacements multimodaux. De plus, les instigateurs de l'enquête peuvent adapter les données recueillies aux besoins de leur étude. Dans ce sens, Bagchi et White (2005) affirment que les enquêtes permettent aux agences de transport d'avoir « un portrait plus complet de leurs usagers et des comportements liés à leurs déplacements ».

Les moyens disponibles pour la réalisation des enquêtes sont multiples. On peut notamment penser aux questionnaires papier, remplis sur le terrain ou acheminés par courrier, aux appels téléphoniques, aux sondages par internet dont la généralisation permet de cibler plus de personnes. En général, les enquêtes telles que les enquêtes Origine-Destination ne visent pas à déterminer les déplacements des usagers au jour le jour mais plutôt à déterminer les habitudes de déplacement des individus et les facteurs influant, afin de définir un jour moyen de déplacement pour la période de l'enquête et ainsi cerner les besoins de la population en termes de transport (Trépanier, Morency, & Blanchette, 2008). Cependant, des enquêtes telles que l'enquête CHASE (Doherty & Miller, 2000) qui s'étire sur une semaine ou encore le projet Mobidrive, durant lequel les répondants tiennent un journal détaillé de leurs déplacements sur six semaines, permettent d'ajouter une dimension temporelle plus importante aux données tout en connaissant les caractéristiques sociodémographiques des usagers (Axhausen, Zimmermann, Schönfelder, Rindsfuser, & Haupt, 2002).

La représentativité des données collectées par enquête est souvent remise en cause dans la littérature. En effet, le mode de sélection des personnes ciblées influence les résultats de l'enquête. À titre d'exemple, les enquêtes Origine-Destination menées tous les cinq ans auprès des résidents de la région métropolitaine de Montréal visent les ménages au hasard à partir de

leur numéro de téléphone⁴ alors que les données utilisées par André et Asad (1997) sont issues de questionnaires distribués au sein de différentes entreprises donc ne concernent que des usagers adultes et salariés. Bagchi et White (2005) soulèvent également le problème de la représentativité des données d'enquête en soutenant qu'une enquête à bord aura plus de chance de cibler des usagers réguliers des transports alors que des enquêtes aléatoires auprès des ménages seront plus représentatives car elles s'adressent à tous les types d'usagers. Enfin, les enquêtes sont généralement critiquées pour leur faible taux de réponse, ce qui implique une faible rentabilité temporelle et pécuniaire ainsi que des biais d'un point de vue statistique.

Les avantages et inconvénients des enquêtes seront traités plus en détail dans la section 2.3.1 à des fins de comparaison des données d'enquête avec les données de cartes à puce.

2.1.2 Les comptages

Les sociétés de transport effectuent des comptages des passagers à bord des véhicules ou par des opérateurs placés à certains arrêts jugés stratégiques. Ces comptages sont un moyen de déterminer notamment les profils de charge des différentes lignes selon l'heure de la journée, les points de charge maximale, les temps de parcours et autres caractéristiques... Les données collectées peuvent être exploitées par la suite à des fins de planification afin d'adapter l'offre à la demande des usagers. Ces comptages manuels, dispendieux en temps, en argent et en personnel, ne peuvent cependant pas être réalisés de manière fréquente. Toutefois, les progrès techniques permettent aujourd'hui de faire évoluer les méthodes de suivi grâce aux systèmes de comptages automatiques installés à bord des autobus au moyen de différentes technologies : senseurs infrarouges, senseurs à ultrasons, senseurs optiques ou marchepieds. Ces équipements permettent d'établir des bases de données s'appuyant sur des données récentes et fiables afin d'assurer un suivi plus précis de la demande. La STO a fait le choix d'un système de comptage automatique testé au cours de l'année 2008. Antérieurement, la STO effectuait des comptages manuels à bord

⁴ Agence Métropolitaine de Transport. « Enquêtes Origine-Destination ». Consulté le 14 Janvier 2011. Tiré de <http://www.cimtu.qc.ca/enqOD/Index.asp>.

une fois par an alors que le système de comptage automatique permet l'évaluation de l'achalandage au moins une fois par mois⁵.

Concernant les volumes de véhicules, les comptages routiers sont aujourd'hui principalement réalisés grâce aux technologies STI. Les STI se basent sur les technologies de l'information et de la communication pour améliorer la gestion des réseaux de transport en facilitant les déplacements et en aidant à les rendre plus efficaces et sécuritaires⁶. Les comptages routiers servent notamment à prendre connaissance des volumes de circulation sur le réseau, de caractériser la charge et l'évolution des débits ainsi que de constituer d'importantes bases de données pour mener des études variées pour la planification, pour la gestion de la circulation, pour répondre aux demandes politiques et techniques ou encore pour spatialiser les problèmes⁷. Les types de capteurs disponibles pour les comptages routiers sont multiples et présentent différentes fonctionnalités et niveau de précision. Ils peuvent être intrusifs, c'est-à-dire qu'ils sont installés dans la chaussée, ou non intrusifs, c'est-à-dire que les dispositifs sont contenus dans des boîtiers installés à proximité des voies de circulation⁸. Les boucles électromagnétiques, les cartes détecteur, les capteurs piézocéramique et magnétiques sont les principaux exemples de capteurs intrusifs et les capteurs hyperfréquence, vidéo, infrarouge, ultrason ou multi-technologie constituent l'essentiel des dispositifs non intrusifs.

2.1.3 La carte à puce

La carte à puce comme moyen de perception est de plus en plus répandue dans le domaine des transports en raison des nombreux avantages inhérents à son utilisation (voir section 2.3.3, page 24). En parcourant la littérature, les études menées à partir des données collectées par carte à

⁵ Société de Transport de l'Outaouais en collaboration avec la Société de Transport de Montréal, « Rapport annuel et de fin de projet, Juin 2009 ». 71 pages.

⁶ Agence québécoise du transport et des routes, « Les STI : un outil à votre portée ». Consulté le 21 février 2011. Tiré de <http://aqtr.qc.ca/cgi-cs/cs.waframe.content?topic=32920&lang=1>.

⁷ Agence québécoise du transport et des routes, Congrès 2010, « Méthode d'exploitation des données des comptages routiers sur le territoire de la ville de Laval », présenté par Denis Gervais et Marina Fressancourt. Consulté le 21 février 2011. Tiré de http://aqtr.qc.ca/documents/Congres_2010/pdfs/Fressancourt_Marina.pdf.

⁸ Ministère français de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, « Les transports intelligents ». Consulté le 21 février 2011. Tiré de <http://www.transport-intelligent.net/technologies/capteurs-77/>.

puce sont de plus en plus fréquentes lors des dernières années. Cependant, ces données se limitent encore à des périodes de temps relativement courtes, se résumant à des journées ou à quelques mois, exception faite de l'étude de Trépanier et Morency (Trépanier & Morency, 2010) qui se base sur les données collectées par la STO utilisées pour la présente recherche. Les perspectives d'analyse sur de longues périodes de temps sont donc importantes pour notre recherche et celles à venir. La section 2.2 qui suit traite plus en détails de cette technologie prometteuse.

2.2 Point sur la technologie de la carte à puce

2.2.1 Rapide historique

Bien que la banalisation de son utilisation soit récente, l'invention du principe de la carte à puce date de la fin des années 60. L'idée d'une carte en plastique munie d'une puce électronique a été brevetée en 1968 par deux inventeurs allemands, Jürgen Dethloff et Helmut Grötrupp (Shelfer & Procaccino, 2002). Cette invention a engendré une phase de recherche sur cette technologie avant que celle-ci ne soit utilisée. Notamment, en 1970, les japonais ont breveté une nouvelle version de carte à puce, suivis en 1974 du français Roland Moreno qui dépose un brevet sur les cartes à circuit intégré. La réalisation de la première puce est due à Motorola Semi-conducteur en partenariat avec Bull en 1977. La France est le premier pays à s'être investi dans l'implémentation de la carte à puce, d'abord dans le secteur des télécommunications puis dans le secteur bancaire. Il faut attendre les années 90 pour que les exemples de commercialisation de la carte à puce se multiplient. Shelfer et Procaccino (2002) proposent un tableau rassemblant les grandes lignes d'évolution avant l'essor de l'utilisation de cette technologie :

Tableau 2-1 - Évolution de la carte à puce avant généralisation

Année	Description
1968	Invention et dépôt de brevet du principe d'une carte plastique munie d'une puce
1970	Brevet sur une nouvelle version de la carte à puce déposé par le japonais Arimura
1974	Brevet sur la puce à circuit intégré déposé par Roland Moreno
1977	Fabrication de la première puce par Motorola et Bull
1980	Premiers essais dans 3 villes françaises
1982	Premiers essais américains dans le Dakota du Nord et le New Jersey

Depuis 20 ans, la technologie carte à puce a évolué, passant de la carte avec contact à la carte sans contact (voir section 2.2.2, page 14), et son utilisation s'est largement généralisée. L'association internationale à but non lucratif Eurosmart⁹, impliquée dans l'expansion et l'amélioration de la sécurité liée aux cartes à puce et aux systèmes associés, a publié qu'un milliard de cartes à puce de paiement devraient être expédiées en 2011 et que la proportion de cartes sans contact augmente significativement, particulièrement les cartes double usage (contact et sans contact).

En effet, les domaines d'application des cartes à puce sont multiples^{10,11}, entre autres:

- Le domaine bancaire;
- Les télécommunications;
- Les transports;
- Les services de santé;
- Les entreprises et la sécurité des réseaux;

⁹ Eurosmart, The Voice of the Smart Secure Industry. « Eurosmart publishes smart cards shipments for 2010 and 2011 forecasts ». <http://www.eurosmart.com>, page consultée le 21 décembre 2010.

¹⁰ Smart Card Alliance. « Smart Cards Applications ». <http://www.smartcardalliance.org/pages/smart-cards-applications>, page consultée le 21 décembre 2010.

¹¹ Smart Card Basics. « Smart Card Overview ». <http://www.smartcardbasics.com/smart-card-overview.html#why>, page consultée le 21 décembre 2010.

- Le contrôle d'identité;
- Les programmes de fidélité...

Shelfer et Procaccino (2002) ont identifié trois catégories d'applications distinctes:

- Authentification : identification de la personne grâce aux informations stockées dans la carte à puce;
- Autorisation : identification et validation de la personne grâce à la comparaison des informations à partir d'une base de données;
- Transaction : enregistrement d'une transaction et /ou réalisation d'un paiement.

Plusieurs types de cartes à puce ont été mis au point pour répondre aux différentes applications citées précédemment, notamment au niveau des protocoles de communication et selon la nature des informations. La sous-section 2.2.2 suivante retrace le principe de fonctionnement des cartes à puce.

2.2.2 Fonctionnement

La carte à puce, *smart card* en anglais, voit son « intelligence » confinée dans sa puce électronique qui comprend une mémoire, un micro-processeur ou les deux afin de stocker et de traiter les données recueillies¹². Les données sont générées via un lecteur qui interagit avec la carte à puce, interaction qui peut se faire avec contact, sans contact ou les deux (Blythe, 2004; Shelfer & Procaccino, 2002).

Les différents types de cartes sont présentés par le schéma suivant sur le site internet de Smart card basics¹³, présentant les caractéristiques et les fonctionnalités de ces cartes :

¹² Smart card basics, « Smart card overview ». Consulté le 21 février 2011. Tiré de <http://www.smartcardbasics.com/smart-card-overview.html>.

¹³ Smart card basics, « Types of smart card ». Consulté le 21 février 2011. Tiré de <http://www.smartcardbasics.com/smart-card-types.html>.

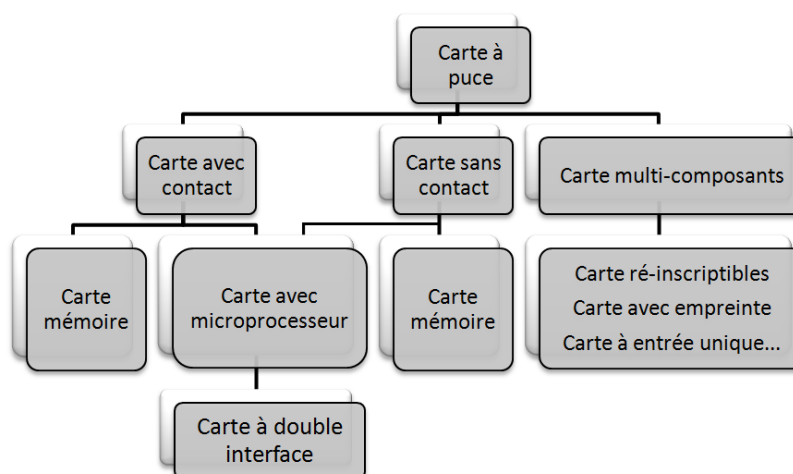


Figure 2-1 - Différents types de cartes à puce¹³

Le premier niveau de différenciation des cartes à puce est que la validation se fait avec ou sans contact. La carte avec contact est insérée dans un appareil capable de « lire » les informations sur la puce grâce au contact avec les pièces métalliques de cette puce (Blythe, 2004). Dans le cadre des transports, les cartes avec contact ont le désavantage de compléter la transaction dans un intervalle de temps qui peut paraître assez long surtout lorsqu'un grand nombre d'utilisateurs veut embarquer (Blythe, 2004). Les cartes sans contact fonctionnent par induction ou grâce à la technologie radio fréquence (RFID : Radio Fréquence IDentification) pour communiquer avec le lecteur, typiquement à une distance comprise entre 1 et 8 cm¹⁴. Ce type de carte peut permettre de diviser le temps de transaction par un facteur 20 ou 30 ce qui leur donne un intérêt certain comparativement à la carte avec contact (Shelfer & Procaccino, 2002).

Le second niveau de différenciation réside dans le fait que la carte présente seulement une mémoire ou inclue un microprocesseur. La carte mémoire est la technologie la plus triviale permettant de stocker des informations dans les capacités disponibles (Shelfer & Procaccino, 2002). Ce type de carte est seulement destiné à être lu car elles ne peuvent pas traiter d'informations et elles présentent différents niveaux de protection en fonction de leur

¹⁴ Smart card alliance, « About smart cards : Introduction ». Consulté le 21 février 2011. Tiré de <http://www.smartcardalliance.org/pages/smart-cards-intro-primer>.

application¹⁵. Les cartes incluant un microprocesseur en plus de la mémoire sont capables de traiter des données et d'exécuter de petits programmes (Blythe, 2004). L'espace mémoire de ces cartes est généralement de type EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). Certaines cartes à microprocesseur, appelées cartes multi-application, permettent de télécharger des applications annexes (Shelfer & Procaccino, 2002). Les cartes à double interface comportent une puce additionnelle contrôlant des interfaces de communication et les cartes multi-composants sont conçues pour des applications spécifiques, elles sont brevetées et réservées à un distributeur unique¹⁵.

En définitive, les caractéristiques d'une carte à puce se résument à la possibilité de lire et écrire des données, à sa capacité de stocker plus ou moins d'informations, à les traiter ou non et cela selon plusieurs niveaux de sécurité (Blythe, 2004). Le gain en capacité de traitement, en mémoire et en sécurité va principalement impliquer une augmentation du coût de la carte¹⁵, le choix du type de carte sera donc effectué en fonction de l'application particulière que le distributeur veut en faire.

2.2.3 Confidentialité

Le sujet de la confidentialité et de la protection de la vie privée est souvent abordé dans la littérature en ce qui concerne la technologie carte à puce. L'usage des cartes à puce s'est généralisé dans la vie quotidienne des individus qui ne prennent pas forcément la mesure de l'intrusion de leur vie privée impliquée par cette technologie. Clarke (2001) aborde cette préoccupation sur la menace induite par nombre de technologies, dont la carte à puce :

« A number of developments have occurred, however, that have the effect of obscuring the data collection activity from view. One motivation for these developments has been to simplify and increase the efficiency of processes; but they also avoid the individual realising that their location and activities are being tracked. One example of such a mechanism is contactless chip-cards. These depend on movement of the card through a magnetic field, which induces a current in the antenna embedded in the card, and enables the card to process data, and to transmit data. This technology is valuable in contexts where human

¹⁵ Smart card basics, « Types of smart card ». Consulté le 21 février 2011. Tiré de <http://www.smartcardbasics.com/smart-card-types.html>.

movement is brisk and occurs in large volumes, such as entry and exit barriers in mass transit systems. It also creates a potential for transactions to be undertaken surreptitiously. »¹⁶

Tous les auteurs ne sont pas aussi alarmistes et soutiennent que la question de la confidentialité est prise au sérieux pour gérer l'accessibilité des données et l'utilisation de l'information contre les abus potentiels, particulièrement depuis les attentats de New York du 11 septembre 2001 (Dempsey, 2008). Dans le cadre des transports, les cartes à puce permettent d'enregistrer des données de déplacements et l'action d'enrichir ces données avec d'autres informations personnelles afin de constituer des bases de données plus complètes peut permettre d'en apprendre beaucoup sur les usagers (Dempsey, 2008). Bien que ces bases de données puissent être précieuses pour les besoins d'analyses, elles peuvent tout aussi bien être utilisées de manière abusive ou à des fins malhonnêtes, ce qu'il faut limiter par différentes mesures, principalement législatives.

Dempsey (2008) utilise l'expression « société de surveillance » pour qualifier le fait que l'anonymat des individus est mis au second plan lorsque les institutions gouvernementales peuvent suivre les comportements individuels, notamment pour lutter contre le terrorisme. Cette préoccupation devient particulièrement forte lorsqu'une carte à puce unique est utilisée pour plusieurs applications. Un des principaux défis est donc de trouver un compromis entre l'utilisation des données à des fins de sécurité intérieure et le respect des libertés individuelles et de la vie privée (Dempsey, 2008).

Bien que les autorités nationales aient leur rôle à jouer dans ces préoccupations, la législation reste floue à ce sujet. Un certain nombre de recommandations à l'attention des organisations sur la politique de sécurité et de confidentialité à adopter sont énumérées sur le site internet de Smart Card Alliance¹⁷ :

¹⁶ Clarke, R. (2001). Person location and person tracking : Technologies, risks and policy implications. *Information Technology & People*, 14(2), 206-231.

¹⁷ Smart card alliance, « Alliance activities : Publications : Identity ». Consulté le 22 février 2011. Tiré de <http://www.smartcardalliance.org/pages/publications-identity>.

- Définir clairement la politique sur l'utilisation des données à savoir quelles données seront collectées, comment l'information sera utilisée et par qui, comment l'information sera protégée et quel contrôle l'utilisateur pourra avoir sur l'information;
- Mettre en place un processus garantissant que l'information est exacte et que la confidentialité et l'intégrité des données sont protégées;
- Protéger en tout temps l'ensemble des informations individuelles, pendant le stockage et lors de l'utilisation;
- Protéger les identifiants (ID) de tout accès non autorisé;
- Permettre l'accès aux données seulement après une procédure d'autorisation;
- Former et suivre l'ensemble du personnel amené à avoir accès à l'information.

À titre d'exemple, Dempsey (2008) s'est intéressé au cas de la Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA) qui a adopté deux politiques quand aux données qu'elle collecte par carte à puce : la Public Access to Records Policy et la Privacy Policy. La première permet, sauf exemption particulière, d'accéder aux informations dans le cadre d'inspection ou pour la reproduction et la seconde inclut trois mesures ayant trait à la confidentialité. Ces mesures visent à prévenir la révélation de l'information sans le consentement de la personne concernée, à permettre à l'individu d'accéder à ses informations personnelles et de les modifier s'il le souhaite.

Dans le but de prévenir les abus quant à l'utilisation des données de déplacement, la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), une institution française indépendante chargée de veiller au respect de l'identité humaine, de la vie privée et des libertés dans un monde numérique¹⁸, a formulé une recommandation visant à ce que :

« la collecte et le traitement d'informations nominatives par les sociétés de transport collectif dans le cadre des applications billettiques soient conformes aux principes de la loi informatique et des libertés du 6 janvier 1978.

¹⁸ CNIL, « Fiche pratique : la traçabilité des déplacements ». Consulté le 22 février 2011. Tiré de <http://www.cnil.fr/en-savoir-plus/fiches-pratiques/fiche/article/la-tracabilite-des-deplacements/>.

La CNIL préconise notamment que les données relatives aux déplacements des personnes ne soient utilisées sous une forme permettant d'identifier les usagers que dans le cadre de la lutte contre la fraude et que pendant le temps nécessaire à la détection de la fraude, ce délai ne devant pas excéder deux jours consécutifs. » 18

De telles politiques restreignent les possibilités d'utilisation des données issues de technologies telles que la carte à puce mais ont pour vocation d'améliorer la protection de la vie privée, ce qui contribue également à renforcer la confiance des usagers envers ces systèmes (Dempsey, 2008).

2.3 Utilisation des données de cartes à puce en transport en commun

2.3.1 Enquêtes versus cartes à puce

Selon Morency et Chapleau (2002), les données issues des enquêtes Origine-Destination constituent la meilleure source d'information disponible pour mesurer la mobilité quotidienne des Montréalais. Ces données permettent « d'obtenir un portrait global des habitudes de déplacements d'une population » (Trépanier, et al., 2008) notamment grâce à la richesse des informations collectées. Toutefois, l'essor des systèmes de collecte automatisés tel que le principe de perception par carte à puce modifie le type et la quantité de données disponibles (Utsunomiya, et al., 2006). On constate que dans la littérature, lorsqu'il est question de déterminer laquelle des deux sources de données est préférable, les avis sont loin d'être unanimes.

Le besoin de disposer de données sur des périodes de temps longues ne date pas d'hier. Axhausen et al. (2002) ont exploité les données de l'enquête Mobidrive 1999 afin « d'observer les rythmes de la vie quotidienne en détail et de capter les fréquences mensuelles au moins une fois ». Bayarma, Kitamura et Susilo (2007) ont utilisé ces mêmes données pour étudier les habitudes des usagers et les tendances de déplacement dans les transports. En effet, une analyse comportementale basée sur des données étalées dans le temps voire continues permet de saisir les tendances dans la fréquentation des transports. En ce sens, les systèmes de perception par carte à puce permettent un suivi continu de tous les usagers qui l'utilise alors que, bien qu'elles fournissent des données significatives, les échantillons de population sondés par les enquêtes restent généralement de petite taille (Bagchi & White, 2005; Morency, et al., 2007).

Une opinion répandue est que les données collectées grâce aux cartes à puce sont moins coûteuses et disponibles plus rapidement que les données d'enquêtes (Seaborn, Attanucci, & Wilson, 2009). Les principaux défauts des données d'enquêtes sont les coûts élevés engendrés, les taux de réponses faibles qui ont encore tendance à décroître, ainsi que des biais et erreurs occasionnés pour différentes raisons (Barry, Newhouser, Rahbee, & Sayeda, 2002; Reddy, Lu, Kumar, Bashmakov, & Rudenko, 2009; Trépanier, et al., 2008; Utsunomiya, et al., 2006). Les données d'enquêtes ont tendance à être biaisées car la contribution humaine est plus grande que pour les données de cartes à puce dont les critères sont prédéfinis et enregistrés automatiquement (Bagchi & White, 2004). Parmi les biais et erreurs engendrés figurent notamment la difficulté à déchiffrer les différentes écritures (Reddy, et al., 2009), les écarts entre les taux de réponse selon le type d'utilisateur ou encore la diminution du taux de réponse sur le trajet retour due au fait que les usagers sont moins enclins à remplir une nouvelle fois un questionnaire (Barry, et al., 2002).

De nombreux auteurs se sont attelés à la comparaison entre les enquêtes et les cartes à puce en s'appuyant sur des données réelles issues de ces deux sources. D'après ces études, on peut identifier trois conclusions possibles : les données de cartes à puce peuvent remplacer les données d'enquêtes, les deux sources de données sont complémentaires et les données d'enquête doivent être utilisées pour valider les données de cartes à puce (les deux dernières reviennent plus ou moins au même selon les auteurs). Seaborn, Attanucci et Wilson (2009) qui ont comparé les données Oyster Card (carte à puce en usage à Londres) aux données de l'enquête annuelle LTDS (London Travel Demand Survey) se prononcent en faveur des données de cartes à puce en raison des faibles divergences obtenues. Reddy et al. (2009) parviennent à la même conclusion quant au métro de New York, bien qu'ils concèdent que la carte à puce n'est pas sans défaut. Cependant, bien que la carte à puce fournisse des informations riches sur les comportements de déplacement des usagers, il existe toujours des problèmes pour conduire les analyses seulement à partir de ces données (Utsunomiya, et al., 2006). Bagchi et White (2004, 2005) s'opposent radicalement à l'idée initialement répandue selon laquelle la carte à puce peut remplacer les enquêtes. Selon ces deux auteurs, les données d'enquêtes et celles collectées grâce aux cartes à puce sont complémentaires et les sources de données utilisées doivent correspondre à l'usage que l'on souhaite en faire :

« the key question is what data source will play the lead role and what data sources will play the complementary role for any given process or analysis. The roles will differ according to the analysis being undertaken and the nature of the variables of information that need to be captured for that analysis. »¹⁹

En effet, au Royaume Uni, la longueur de trajet doit être connue pour des procédures de remboursement de certains usagers. La carte à puce n'étant généralement pas validée au lieu de débarquement, les informations doivent être récoltées par le biais de sondages (Bagchi & White, 2004, 2005). Dans le cas où les lieux de débarquement et les correspondances sont inférés selon différentes méthodes, les données d'enquête doivent être utilisées pour valider les résultats obtenus (Bagchi & White, 2005). Les deux auteurs font de plus remarquer que le but des trajets ne peut être connu que grâce aux enquêtes et que les données de cartes à puce ne prennent pas en compte les usagers occasionnels qui n'utilisent pas ce support. Barry et al. (2002), suite à une étude concernant le métro de New York, font également le choix d'utiliser des données d'enquête en complément des données collectées par les cartes à puce. Trépanier, Morency et Blanchette (2008) adoptent également l'idée de la complémentarité des deux sources de données, invitant à ne pas sous-estimer la valeur des données issues d'enquêtes:

« En effet, d'un côté, les enquêtes ménages comportent des biais statistiques reconnus dus à des sous-échantillonnages, des non-réponses, la méthode utilisée, etc. Cependant, elles fournissent des données essentielles sur les caractéristiques sociodémographiques des usagers, sur leurs lieux de domicile et d'activités et sur la structure de leur ménage. D'autre part, les données provenant de systèmes de cartes à puces ne sont pas parfaites. Elles souffrent quelquefois des erreurs liées au système en lui-même (équipements, bases de données) et aux impondérables du réseau (voyages décalés, détours, etc.). De plus, par souci d'extrême confidentialité bien légitime, aucune information nominale n'est disponible sur les usagers et seules les cartes sont analysées. »²⁰

¹⁹ Bagchi, M., & White, P. R. (2004). What role for smart-card data from bus systems ? Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer, 157(1), 39-46.

²⁰ Trépanier, M., Morency, C., & Blanchette, C. (2008). Les systèmes de paiement par cartes à puces: un complément aux enquêtes origine-destination? 43e congrès annuel de l'Association québécoise du Transport et des routes, Québec, 20 pages.

Ainsi, la prépondérance des données de cartes à puce sur les données d'enquêtes est à nuancer bien que cette technologie élargisse de manière certaine les possibilités d'analyse quant à la fréquentation des transports collectifs.

2.3.2 Perspectives liées aux cartes à puce pour les agences de transport

L'opérationnalisation d'un système de perception par carte à puce, que ce soit ou non en complément d'autres méthodes de collecte, offre de nouvelles perspectives aux agences de transport. Ces perspectives s'inscrivent principalement dans des optiques marketings visant à promouvoir le transport en commun face aux autres modes de transport, au niveau de la planification et de l'optimisation des opérations ainsi que pour la sécurité.

Rendant les transports plus attractifs et modernes, l'implémentation de la carte à puce a une forte portée marketing en améliorant le processus de paiement et les flux d'information notamment en ce qui concerne la rapidité et la flexibilité du paiement (Blythe, 2004). En effet, l'utilisateur n'a plus besoin de payer à chaque fois qu'il emprunte les transports, ce qui constitue un gain en rapidité ainsi qu'en commodité, et permet de réduire les coûts logistiques liés au paiement en argent comptant (Blythe, 2004; Bryan & Blythe, 2007; Dempsey, 2008). L'utilisation de la carte à puce permet également la complexification de la tarification en incluant des réductions en fonction du type d'utilisateur et ainsi atteindre des classes d'utilisateurs spécifiques (Attoh-Okine & Shen, 2002; Deakin & Kim, 2001). On peut penser à la tarification par type d'utilisateur (adultes, étudiants, seniors...), en fonction des lignes empruntées (lignes classiques, lignes express, centre ville...) ou encore en fonction de l'heure de la journée (pointe, hors pointe). À Séoul, la tarification est basée sur la longueur du trajet, ce qui est rendu possible grâce à la validation du titre de transport à l'entrée et à la sortie (Jang, 2010). En ce sens, la carte à puce peut potentiellement augmenter les revenus en attirant de nouveaux usagers. De plus, la technologie carte à puce peut éventuellement rendre les réseaux interopérables ce qui représente une commodité accrue pour l'utilisateur. L'organisme ITS0 (Integrated Transportation Smart-Card Organisation) a été créé dans ce but au Royaume Uni ((Blythe, 2004) ainsi que le programme « Creative Star » à Hong Kong grâce auquel la même carte à puce donne accès à cinq réseaux de transport différents (Deakin & Kim, 2001).

La littérature est unanime sur le fait que la carte à puce a le potentiel de révolutionner les processus de planification des opérations, et ce aux trois niveaux stratégique, tactique et opérationnel (Trépanier, et al., 2004). L'accès à d'importants volumes de données, enregistrées de surcroît en continu, permet une compréhension plus fine et en profondeur de la demande permettant d'améliorer la planification à court terme et à long terme (Barry, Freimer, & Slavin, 2009; Bryan & Blythe, 2007). Ces données autorisent les opérateurs à déterminer les charges selon la période de la journée et la ligne considérée. Il est alors possible d'améliorer les modèles d'analyse et d'adapter le service à la demande (Barry, et al., 2009; Blythe, 2004). Certains systèmes de perception par carte à puce sont couplés avec un système de localisation par GPS qui enregistre l'arrêt où a lieu la transaction, ce qui est le cas à la STO, les données collectées ont alors une dimension spatio-temporelle précise rendant possible des analyses encore plus poussées (Morency, et al., 2007; Trépanier, et al., 2004; Trépanier, et al., 2008)

Enfin, Dempsey (2008) s'est intéressé au potentiel de la carte à puce en ce qui concerne la sécurité dans les transports et la lutte contre le terrorisme, bien que cet aspect soit confronté aux préoccupations sur la confidentialité. Cette logique s'inscrit clairement dans le courant américain post 11 septembre 2001. Selon l'auteur, la carte à puce peut renforcer la sécurité en ce qui concerne les usagers et les employés des réseaux de transport. En plus d'autoriser l'accès et le paiement, la carte à puce permet d'identifier les usagers. Dempsey fait remarquer qu'en ajoutant des informations personnelles voire des données biométriques, il est possible de repérer, d'interdire l'accès voire d'interpeller des usagers ayant déjà été impliqués dans un incident ou jugés à risque. Des mesures de sécurité peuvent également être appliquées aux employés des transports afin d'autoriser ou restreindre l'accès à certaines zones.

Bien que les exploitations potentielles des données de cartes à puce soient nombreuses, leur utilisation est loin d'être triviale notamment en ce qui concerne le traitement des énormes volumes de données générés et le développement de modèles d'analyse. Deakin et Kim (2001) expriment une mise en garde quant à l'influence des changements technologiques sur les opérateurs et les usagers d'un réseau de transport :

"Transportation technologies of the sort discussed here, and many more, are advancing every day. Planners need to be aware of coming technological changes so that they can integrate them or account for them

in their planning and programs. Planners also need to be aware of a broader, more speculative set of technological possibilities and their implications so that they will not be caught by surprise by changes that might have been anticipated. Planning styles that utilize scenario development and testing with the participation of a wide variety of experts and interests are one way to manage the uncertainties raised by possible technological change. Monitoring also takes on added importance in such circumstances."²¹

Ainsi, l'implémentation d'une nouvelle technologie telle qu'un système de perception par carte à puce doit ainsi être rigoureusement préparée avec l'avis de plusieurs experts. Les risques potentiels pouvant survenir doivent être identifiés et prévenus. Enfin, les opérateurs doivent être formés à la nouvelle technologie et aux méthodes qui en découlent. L'agence de transport doit adapter son système de collecte en fonction de ses besoins (Bagchi & White, 2004) tout en prenant conscience des avantages et inconvénients inhérents à la carte à puce.

2.3.3 Avantages et inconvénients de la carte à puce

Dempsey (2008) formule de manière intéressante les enjeux de la technologie carte à puce en transport :

« The fundamental challenge is to create a security regime that is highly effective in preventing acts of terrorism, but does not unduly interfere with the efficiency and productivity of transportation, impose excessive costs, create unwarranted passenger inconvenience, or intrude unnecessarily into individual privacy and civil liberty. »²²

Il est donc nécessaire de trouver le juste compromis entre un système sécuritaire et un système ne réduisant pas les qualités associées aux transports publics. De nombreux auteurs abordent les avantages et inconvénients liés à un système de perception par carte à puce que l'on peut catégoriser relativement aux données, aux agences de transport et leurs usagers, aux exigences de confidentialité et de sécurité.

²¹ Deakin, E., Kim, S., & University of California . Transportation Center (2001). Transportation technologies: Implications for planning: University of California Transportation Center, University of California.

²² Dempsey, S. P. (2008). Privacy Issues with the Use of Smart Cards. (25), 25 pages.

Conformément à la littérature, les principaux avantages de la carte à puce classés selon les trois catégories énoncées sont les suivants :

- Les données
 - Grands volumes de données collectés (Bagchi & White, 2004);
 - Données collectées en continu et sur de longues périodes, ce qui permet de générer un profil dynamique des usagers ainsi que de relier ces données à une carte individuelle et/ou à un usager (Attoh-Okine & Shen, 2002; Bagchi & White, 2004; Bryan & Blythe, 2007; Morency, et al., 2007);
 - Nombre important de variables disponibles (transaction, type d'utilisateur, ligne, caractéristiques opérationnelles...) rendant possible une meilleure connaissance des usagers (Bagchi & White, 2004; Bryan & Blythe, 2007; Trépanier, et al., 2008);
 - Intérêt de coupler des données de déplacement et des données individualisées (Bagchi & White, 2005). L'association d'autres technologies STI telle que la technologie GPS permet d'ajouter une dimension spatiale très précise aux données de cartes à puce (Morency, et al., 2007; Trépanier, et al., 2004; Trépanier, et al., 2008).
- Les agences de transport et leurs usagers
 - Gain en rapidité et en flexibilité au niveau du paiement. La réduction des interactions entre opérateurs et usagers constitue une commodité accrue pour l'utilisateur et une réduction des coûts logistiques pour les agences de transport (Attoh-Okine & Shen, 2002; Blythe, 2004; Chira-Chavala & Coifman, 1996; Deakin & Kim, 2001; Dempsey, 2008);
 - Amélioration de la modélisation de la demande par l'établissement des profils de charge en fonction de l'heure et de la ligne (Bagchi & White, 2004; Barry, et al., 2009; Blythe, 2004; Trépanier, et al., 2008). Des analyses comportementales permettent une meilleure compréhension des déplacements des usagers ce qui aide les opérateurs pour la planification à court terme comme à long terme (Bagchi & White, 2004; Barry, et al., 2009);

- Adaptation de l'offre à la demande en minimisant le nombre de transferts (Barry, et al., 2009);
- Développement d'une tarification plus complexe tenant compte du type d'utilisateur ou des zones de déplacement (Attoh-Okine & Shen, 2002; Deakin & Kim, 2001);
- Développement du transport adapté notamment pour les handicapés, les seniors et les scolaires (Bagchi & White, 2004; Bryan & Blythe, 2007);
- Amélioration de la gestion des revenus et de la sécurité contre de possibles négligences ou la malhonnêteté du personnel (Attoh-Okine & Shen, 2002).
- Les exigences de confidentialité et de sécurité
 - Exposition à la fraude plus faible que pour les cartes magnétiques (Dempsey, 2008);
 - Aide à la lutte contre le terrorisme (Dempsey, 2008).

Malgré les nombreuses qualités reconnues aux données de cartes à puce, les auteurs leur attribuent toutefois certains inconvénients qu'il faut réduire soit par des traitements et modèles particuliers, soit en ayant recours à des sources de données complémentaires. Comme cela a été fait pour les avantages, la liste des inconvénients des données de cartes à puce est dressée à la suite, toujours selon les trois catégories utilisées plus haut :

- Les données
 - Informations sur le but du trajet non disponibles (Bagchi & White, 2004). Ce type de renseignements ne peut être obtenu que par le biais d'enquêtes;
 - Validation de la carte se fait généralement seulement à l'entrée, ce qui implique que la destination et les correspondances ne sont pas connues avec certitude (Barry, et al., 2009; Barry, et al., 2002; Trépanier, et al., 2007);
 - Erreurs dans les données (Bagchi & White, 2004; Chu & Chapleau, 2007; Trépanier, et al., 2004; Trépanier, et al., 2008; Utsunomiya, et al., 2006);
 - Direction indisponible dans le métro lorsque la transaction se fait par le passage de tourniquets (donne accès aux deux sens de déplacement sur la ligne) (Barry, et al., 2009).
- Les agences de transport et leurs usagers
 - Difficultés à traiter les énormes volumes de données générés (Barry, et al., 2009);

- Utilisation de la carte à puce ne concerne pas l'ensemble des usagers d'un réseau car certains comme les usagers occasionnels continuent à utiliser les tickets (Trépanier, et al., 2004);
 - Coûts importants liés à l'équipement et la production des cartes (Attoh-Okine & Shen, 2002);
 - Maintenance plus importante et plus complexe des équipements et nécessité d'avoir recours à du personnel qualifié (Attoh-Okine & Shen, 2002);
 - Implémentation plus longue en raison des tests, de la préparation des stations et des véhicules, et d'installation plus ou moins longue selon la taille et la complexité du réseau (Attoh-Okine & Shen, 2002);
 - Planification plus importante pour développer les nouvelles tarifications d'après le comportement des usagers (Attoh-Okine & Shen, 2002).
- Les exigences de confidentialité et de sécurité
 - Limitations dues aux règles de confidentialité et de protection de la vie privée (Bryan & Blythe, 2007; Dempsey, 2008; Trépanier, et al., 2004; Trépanier, et al., 2008).

Paradoxalement, même si les données carte à puce sont jugées dans l'ensemble de bonne qualité, la présence d'erreurs dans les données est un désavantage cité de manière récurrente dans la littérature. Les erreurs évoquées par les auteurs peuvent se manifester de différentes façons et donner lieu à des incohérences nécessitant un traitement particulier avant l'exploitation des données car ces erreurs peuvent influencer sérieusement les résultats des analyses et se propager lors des éventuelles procédures d'enrichissement. Notamment, les données collectées peuvent être incomplètes ou présenter des erreurs dans la ligne de bus concernée due à une mauvaise saisie de la part des chauffeurs (Utsunomiya, et al., 2006). Les erreurs peuvent être liées au système en lui-même (équipements, bases de données...) et aux incertitudes liées au réseau telles que les retards et les détours pour cause de travaux par exemple (Trépanier, et al., 2008). Trépanier et al. (2004) évoquent aussi les problèmes d'interruption d'historique en cas de perte ou de vol de la carte à puce du fait que le numéro d'identification de la carte change pour un même utilisateur. Ces erreurs peuvent être identifiées et supprimées de la base de données ou alors être corrigées de différentes manières. Chu et Chapleau (2007) ont développé une

méthodologie visant à détecter les erreurs ou les incohérences dans les données et à les remplacer par des valeurs fondées sur des standards de déplacements journaliers et les habitudes du détenteur de la carte.

2.3.4 Enrichissement des données carte à puce

L'enrichissement de données consiste à combiner des informations afin d'obtenir une base de données unique. Saporta (2002) distingue la fusion de données et la « greffe » de données. La première méthodologie consiste à combiner deux fichiers de taille différente où il faut estimer les valeurs manquantes pour compléter les variables incomplètes et la deuxième méthodologie a pour but de rassembler les données issues de sources différentes. L'enrichissement de données est pratiqué dans de nombreuses recherches afin de mener des analyses comportementales ou pour déterminer l'influence de différents facteurs sur la fréquentation des réseaux de transport. En effet, les données de transport peuvent être fusionnées avec d'autres éléments d'information telles que des données démographiques, géographiques, opérationnelles ou encore météorologiques. Morency et Chapleau (2002) mettent en œuvre une méthodologie d'enrichissement de données entre les enquêtes origine-destination menées à Montréal en 1987, 1993 et 1998 et les recensements canadiens de 1986, 1991 et 1996. Cette approche constitue une étude préliminaire afin de comprendre les interactions entre la mobilité des montréalais et la configuration urbaine en examinant les variations des déplacements par rapport aux périodes de construction et à leur localisation. Comme cela a été constaté dans la section 2.3.1, certains auteurs soutiennent la complémentarité des enquêtes et des données de cartes à puce afin d'obtenir un portrait plus riche de l'utilisation d'un réseau de transport et de compenser les inconvénients respectifs des deux sources d'information (Trépanier, et al., 2008, 2009).

La propriété désagrégée des données de cartes à puce est intéressante pour l'analyse des déplacements des usagers des réseaux de transport notamment lorsqu'on veut appliquer une méthodologie d'enrichissement de données. En effet, une transaction par carte à puce permet d'enregistrer notamment l'identifiant unique de la carte, la date et l'heure de la transaction, la ligne de transport et parfois l'arrêt concerné ainsi que différentes caractéristiques opérationnelles selon le réseau. Différentes méthodologies ont été développées afin de pallier au fait que l'utilisateur ne valide généralement sa carte qu'à l'embarquement ce qui implique que les lieux de

correspondance et de débarquement sont inconnus. De nombreux auteurs se sont penchés sur la reconstitution des trajets « liés » des usagers, tentant d'estimer les itinéraires complets effectués par les usagers en estimant le lieu de départ, les points de correspondance et de débarquement.

La Figure 2-2 illustre le concept de trajet « lié » :

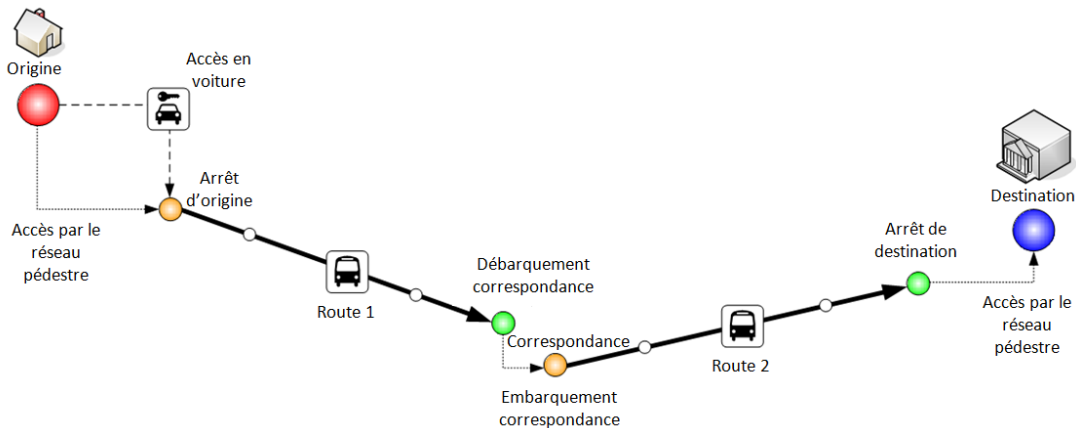


Figure 2-2 - Définition d'un itinéraire pour un trajet lié (Chu & Chapleau, 2008)

Barry et al. (2009) se sont intéressés au cas des transports en commun de New York où le système de perception par carte à puce dans les bus n'est pas couplé avec un système de localisation AVL (Automated Vehicle Location) ou GPS. Leur étude a conduit à la création d'un logiciel permettant de générer des données de déplacement géo-référencées, en partie grâce à la fusion des données de cartes à puce avec les horaires des bus et du métro. Le principe de fixer un seuil pour déterminer les transactions qui constituent un trajet lié est une pratique courante (Chu & Chapleau, 2008). En effet, Bagchi et White (2005) considèrent que deux transactions effectuées dans un intervalle de 30 minutes font partie du même itinéraire, Hofman et O'Mahony (2005b) ont fixé ce seuil à 90 minutes et Utsunomiya et al. (2006) ont choisi un intervalle de deux heures. Seaborn et al. (2009) ont différencié les seuils pour prendre en compte les temps de trajet, les temps de marche et les temps d'attente lors des correspondances entre différents modes, soit 15 à 25 minutes pour un transfert métro-bus, 30 à 50 minutes pour un transfert bus-métro et 40 à 60 minutes pour un transfert bus-bus. Cependant l'utilisation des seuils est non seulement arbitraire car ces valeurs choisies dépendent grandement de la taille du réseau ainsi que du type d'utilisateur considéré, mais en plus leur utilisation détruit la propriété désagrégée des données de cartes à puce et néglige la coïncidence temporelle (Chu & Chapleau, 2008). À partir

des données de cartes à puce de la STO dont les bus sont équipés d'un système AVL utilisant la localisation par GPS, Chu et Chapleau (2008) ont développé une méthodologie pour estimer l'heure d'arrivée des bus aux différents arrêts de la ligne en se basant sur les contraintes temporelles et pour identifier les correspondances effectuées par les usagers grâce à des concepts spatio-temporels.

Enfin, de nouveau grâce à leur propriété désagrégée, les données de cartes à puce peuvent être enrichies avec des informations météorologiques. Plusieurs études ont été réalisées pour étudier l'influence des phénomènes météorologiques sur les transports, concernant le trafic routier ou les transports publics, mais encore très peu à partir des données collectées grâce aux cartes à puce. En combinant les données de cartes à puce et des données météorologiques en réalisant des jointures par date, voire à des unités temporelles plus fines, il est possible d'effectuer des études portant sur l'impact des conditions météorologiques sur les transports entre autres relativement aux variations d'achalandage, aux variations des temps de trajet, à la régularité et à la fréquence des transports en commun (Guo, Wilson, & Rahbee, 2007; Hofmann & O'Mahony, 2005a).

2.3.5 Expériences de commercialisation

Quelques expériences de commercialisation de la carte à puce sont rassemblées dans le Tableau 2-2 afin de donner un aperçu des différentes fonctionnalités associées au système de perception par les autorités de transport. La généralisation de l'utilisation de la carte à puce est une politique particulièrement répandue en Europe et en Asie. La tendance principale en Europe est la volonté d'étendre l'utilisation d'une carte à puce unique pour plusieurs réseaux voire l'ensemble des réseaux (exemple des Pays-Bas). En Asie, la carte à puce présente plutôt une évolution vers un système multi-usage.

Tableau 2-2 - Quelques expériences de commercialisation de la carte à puce en transport et caractéristiques

Localisation Type de carte	Année	Caractéristiques
Hong Kong Octopus ²³	1997	<ul style="list-style-type: none"> - Carte prépayée rechargeable; - Carte à puce sans contact multi-usage; - Transports accessibles : bus, tramway, train, ferry et taxi; - Autres services (fonctions e-paiement additionnelles) : boutiques, parking, machines libre-service, activités de loisir (cinémas, piscines...), accès aux bâtiments (commerciaux et résidentiels), services publics (hôpitaux, écoles...); - Système élargi à Shenzhen et Macao depuis 2006; - Programme de fidélité Octopus Reward; - Validation à l'entrée et à la sortie (LRT).
Pays Bas OV-chipkaart ²⁴	1998	<ul style="list-style-type: none"> - Carte rechargeable avec des produits (ticket unique ou forfait saisonnier) ou du crédit (possibilité de rechargement automatique par internet); - Carte à puce sans contact; - Transports accessibles : tous les transports publics des organisations de transport adhérant au projet (12 organisations à ce jour). Introduction par phases avec à terme une utilisation généralisée à l'ensemble des réseaux de transport des Pays-Bas; - Validation à l'entrée et à la sortie (paiement à la distance).
Washington SmarTrip ²⁵	1999	<ul style="list-style-type: none"> - Carte prépayée rechargeable (jusqu'à \$300); - Carte à puce sans contact; - Transports accessibles : métro, bus et train (carte à puce acceptée par plusieurs opérateurs de transport); - Réductions sur les tarifs en utilisant la carte SmarTrip par rapport au

²³ Octopus. Consulté le 23 février 2011. Tiré de <http://www.octopus.com.hk/home/en/index.html>.

²⁴ OV-chipkaart. Consulté le 23 février 2011. Tiré de <http://www.ov-chipkaart.nl/?taal=en>.

²⁵ Washington Metropolitan Area Transport Authority, « SmarTrip® ». Consulté le 23 février 2011. Tiré de <http://www.wmata.com/fares/smartrip/index.cfm>.

Localisation Type de carte	Année	Caractéristiques
		tarif comptant.
Paris (Île-de-France) Navigo ²⁶	2001	<ul style="list-style-type: none"> - Forfait hebdomadaire ou mensuel; - Carte à puce sans contact; - Transports accessibles : réseau RATP, SNCF et Optile. Peut aussi servir pour l'abonnement Vélib' (vélos en libre service à Paris) ou le billet électronique Thalys (réseau de train entre la France, la Belgique, l'Allemagne et les Pays Bas); - Validation à l'entrée uniquement.
Singapour EZ-Link ²⁷	2002	<ul style="list-style-type: none"> - Carte prépayée rechargeable. - Carte à puce sans contact multi-usage; - Transports accessibles : trains (MRT et LRT), bus, taxi et transports privés; - Autres services (fonctions e-paiement additionnelles) : centres commerciaux, hôtels, cafés, institutions scolaires, cinémas, librairies... - Validation à l'entrée et à la sortie (bus et train).
Séoul T-money ²⁸	2004	<ul style="list-style-type: none"> - Carte prépayée rechargeable; - Carte à puce sans contact multi-usage; - Transports accessibles : bus, métro et taxi; - Autres services (fonctions e-paiement additionnelles) : musées, boutiques, paiement sur internet... - Validation à l'entrée et à la sortie (bus et métro).
Londres Oyster Card ²⁹	2004	<ul style="list-style-type: none"> - Succède à un autre système par carte à puce lancé en 1998; - Carte à puce sans contact;

²⁶ Passe Navigo, « Conditions générales d'obtention et d'utilisation du passe Navigo ». Consulté le 23 février 2011. Tiré de <https://www.navigo.fr/pages/conditions/index.html>.

²⁷ EZ-Link. Consulté le 23 février 2011. Tiré de <http://www.ezlink.com.sg/index.php>.

²⁸ T-money, Korea Smart Card Co., Ltd. Consulté le 23 février 2011. Tiré de <http://eng.t-money.co.kr/>.

²⁹ Transport for London. Consulté le 23 février 2011. Tiré de <http://www.tfl.gov.uk/>.

Localisation Type de carte	Année	Caractéristiques
		<ul style="list-style-type: none"> - Carte rechargeable : fonctionne comme un portefeuille électronique; - Transports londoniens accessibles : bus, tramway, métro, bateaux traversant la Tamise, certains trains nationaux, Eurostar (Visitor Oyster Card en mars 2008³⁰); - Tarification « pay as you go » : validation à l'entrée pour le bus et le tram, vérification par le personnel dans les bateaux, sinon validation à l'entrée et à la sortie.

2.4 Standards de déplacement sur les réseaux de transport

2.4.1 Tendances et saisonnalité

La normalité des déplacements sur les réseaux de transport n'est pas aisée à déterminer car elle dépend d'une multitude de facteurs. À partir des données de transport, sur le trafic routier en général ou plus particulièrement sur l'achalandage des transports en commun, il est possible d'identifier un certain nombre de tendances et de phénomènes saisonniers. Bien que peu d'études aient été menées exclusivement sur la normalité des déplacements, les variations normales de la fréquentation des réseaux de transport peuvent être analysées selon les trois axes suivants :

- Le calendrier : la fréquentation des réseaux de transport fluctue en fonction de la période de l'année. Les variations peuvent être étudiées selon différentes échelles de temps dépendant de la granularité des données disponibles (Morency, et al., 2007; Trépanier & Morency, 2010; Trépanier, et al., 2008) : horaire, journalière, hebdomadaire, mensuelle, saisonnière ou annuelle. Les périodes de vacances, les jours fériés et autres événements exceptionnels (voir section 2.4.2, page 37) sont également susceptibles de modifier l'achalandage des réseaux de transport. Enfin, des phénomènes saisonniers,

³⁰ Eurostar, « Eurostar lance la commercialisation de la carte de transports londoniens the Visitor Oyster Card dans ses trains à grande vitesse ». Consulté le 23 février 2011. Tiré de http://www.eurostar.com/FR/fr/leisure/about_eurostar/press_release/press_archive_2008.jsp.

principalement les conditions climatiques, peuvent avoir un impact sur les déplacements des individus (voir section 2.5.2, page 41);

- Le type d'usagers : le comportement de déplacement varie en fonction de l'utilisateur concerné. Par exemple, les travailleurs et les étudiants sont astreints à des horaires alors que les personnes âgées ont généralement des emplois du temps plus flexibles ce qui implique des rythmes de déplacement différents (Agard, Morency, & Trépanier, 2006; Chu & Chapleau, 2010; Morency, et al., 2007; Trépanier & Morency, 2010). Les caractéristiques des individus (âge, genre, situation matrimoniale, permis de conduire...) et des ménages (revenus, avec ou sans enfant, possession d'une automobile, lieu de résidence, loisirs...) influencent également les déplacements (Hensher & Reyes, 2000; Morency & Chapleau, 2002; Van den Berg, Arentze, & Timmermans, 2010);
- Le type de transport : les standards de déplacements peuvent être étudiés selon les différents modes de transport. Certains usagers utilisent plusieurs modes de transport en fonction de leur flexibilité (permis de conduire, possession d'une automobile, possession d'un titre de transport en commun, éloignement, type d'activité...), de leurs préférences ou encore de facteurs tels que la performance des réseaux de transport, les conditions de circulation ou encore les conditions climatiques (voir section 2.5.2.3, page 48).

Keay et Simmonds (2005) proposent une représentation selon différentes granularités temporelles réalisée sur le trafic routier de la région métropolitaine de Melbourne en Australie, entre 1989 et 1996. L'analyse des volumes moyens globaux, de jour et de nuit (normalisés à des fins de comparaison) selon quatre échelles de temps a permis l'identification des tendances rassemblées dans le Tableau 2-3.

Tableau 2-3 - Tendances à différents niveaux temporels (Keay & Simmonds, 2005)

Échelle de temps	Tendances
Horaire	Les volumes de jour et volumes de nuit constituent respectivement 70% et 30% du volume routier quotidien.
Jour de la semaine	<ul style="list-style-type: none"> - Les volumes moyens du lundi au vendredi, correspondant aux jours travaillés, sont plus importants que les volumes moyens de la fin de semaine; - Le volume moyen des vendredis est le plus important de la semaine alors que le

Échelle de temps	Tendances
	<p>volume moyen des dimanches est le plus faible;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Croissance linéaire du dimanche au vendredi. <p><u>En chiffre :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Volumes moyens de jour : augmentation de 7% du lundi au vendredi, diminution de 26% du vendredi au samedi et de 13% du samedi au dimanche; - Volumes moyens de nuit : augmentation de 24% du lundi au vendredi et diminution de 16% du vendredi au samedi/dimanche.
Mois	<ul style="list-style-type: none"> - Tendance croissante sur les douze mois de l'année avec un maximum en décembre; - Les vacances publiques présentent des volumes similaires à ceux du dimanche.
Saison	Les volumes quotidiens moyens sont légèrement inférieurs l'automne et l'hiver par rapport à ceux du printemps et de l'été.
Année	Tendance croissante suivant un taux d'augmentation annuel de 3,6%, évolution attribuée à la croissance démographique.

Ces observations constituent une introduction à l'étude de la normalité des déplacements, autorisant les gestionnaires des réseaux de transport à mettre au point des modèles de prévision grâce à l'identification de ces tendances et ainsi à adapter le service en fonction de la demande. L'analyse des variations observées devrait permettre de déduire les causes de ces variations telles que les périodes de vacances et autres événements occasionnels ou encore les conditions météorologiques saisonnières ou exceptionnelles ainsi que de mesurer leur impact sur la fréquentation des réseaux de transport. En calculant des facteurs d'ajustement basés sur un historique de cinq ans de trafic routier, Al Hassan et Barker (1999) ont quant à eux construit un modèle de prévision tenant compte des variations selon le jour de la semaine, le mois et l'année. De plus, certaines variations d'achalandage très localisées, lors de jours fériés ou des tempêtes de neige par exemple, pourraient être repérées grâce à une analyse de données quotidiennes et prises en compte afin d'adapter le service à la demande lors de ces journées spécifiques (Trépanier, et al., 2008).

En ce qui concerne les transports en commun, les données de cartes à puce facilitent l'analyse de la normalité des déplacements grâce à leurs propriétés désagrégées et à leur collecte en continu sur de longues périodes de temps. En effet, ces propriétés permettent de visualiser les profils de charge sur le réseau selon de nombreux axes d'étude. Le système de tarification de la STO

distingue trois grandes catégories d'utilisateurs, elles-mêmes subdivisées en catégories plus précises selon différents critères (voir section 3.2.1.2, page 54). Bien que les données de cartes à puce ne permettent pas de savoir le but du trajet associé à une transaction, la connaissance du type d'utilisateur peut donner une idée des activités du détenteur de la carte notamment en fonction de l'heure et du jour de la transaction. Les conclusions sur la normalité des déplacements de trois études menées à partir des données la STO sont reportées dans le Tableau 2-4.

Tableau 2-4 - Standards de déplacement par type d'utilisateur (Données STO)

Type d'utilisateur	Observations et interprétations
Au global	<ul style="list-style-type: none"> - Achalandage global diminue à partir de la fin avril et s'accroît pendant l'été. D'autres baisses occasionnelles sont visibles, principalement au moment des vacances scolaires (Morency, et al., 2007; Trépanier & Morency, 2010); - Achalandage des lundis et vendredis plus faible que les autres jours ouvrés (Trépanier, et al., 2008).
Étudiants	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de fréquentation pendant les vacances et les périodes de lecture, avec un achalandage minimal pendant la période estivale (juillet-août). La diminution d'achalandage liée aux vacances d'été commence dès le mois de mai en raison de la fin de la session d'hiver des universités (Morency, et al., 2007); - Forte baisse de fréquentation pendant l'été (Trépanier & Morency, 2010); - Étudiants constituent la catégorie d'utilisateurs utilisant le plus fréquemment le réseau (Trépanier & Morency, 2010); - Modification de la tarification lors de l'année scolaire 2008-2009 : l'âge du tarif étudiant est passé de 21 à 18 ans, ce qui provoque le transfert d'un nombre important d'étudiants vers le tarif collège/université (Trépanier & Morency, 2010).
Adultes	<ul style="list-style-type: none"> - Fréquentation stable car la plupart des adultes sont des travailleurs astreints aux contraintes salariales, entrecoupée de baisses d'achalandage très localisées correspondant aux vacances scolaires et aux longues fins de semaine (ex : Pâques) (Morency, et al., 2007); - Forte baisse de fréquentation pendant l'été (Trépanier & Morency, 2010); - Augmentation constante de 13% sur 5 ans (2004 à 2009) pour les adultes réguliers (Trépanier & Morency, 2010).
Aînés	<ul style="list-style-type: none"> - Fréquentation stable d'avril à septembre et diminution d'achalandage pendant la période hivernale (Morency, et al., 2007); - Pas de diminution brutale de la fréquentation des aînés, contrairement au cas des étudiants et des adultes (Trépanier & Morency, 2010).

2.4.2 Influence des vacances et autres événements spéciaux

Comme cela a été cité dans la section précédente, les vacances et autres événements spéciaux du calendrier ont un impact sur l'achalandage des transports. Ces événements, principalement dans le cas des vacances, sont récurrents d'une année à l'autre. L'analyse et la quantification des variations d'achalandage engendrées lors de ces périodes spéciales pourraient permettre la prise en compte de ces fluctuations dans les modèles de prévision de la demande afin d'adapter l'offre du service de transport. Trépanier et al. (2008) évoquent l'importance de l'analyse par journée afin de cibler ces événements provoquant l'augmentation ou la diminution de l'achalandage des différents réseaux de transport et d'étudier ces journées à fréquentation particulière en les séparant des journées où l'achalandage est régulier.

Cependant, bien que l'influence des vacances sur la fréquentation des transports soit citée régulièrement dans la littérature, elle est rarement quantifiée. En fait, les journées correspondant aux périodes de vacances sont souvent supprimées des données (Andrey, Mills, Leahy, & Suggett, 2003; Cravo, Cohen, & Williams, 2009; Kalkstein, Kuby, Gerrity, & Clancy, 2009). Les événements spéciaux sont le plus souvent liés à la région de l'étude. Cravo et al. (2009) ont ainsi choisi dans leur étude sur le réseau de transport en commun de New-York de supprimer les données du 11 septembre 2001, du blackout d'août 2003 et les grèves des transports. Kalkstein et al. (2009) ont quand à eux choisi de supprimer les données de transport liées à des festivals, des événements sportifs ou encore les jours précédents et suivants certains jours fériés. Cools et al. (2010) ont consacré une étude à l'impact des vacances sur le temps de trajet en tenant compte du but du trajet, soulevant la nécessité d'incorporer l'influence des vacances publiques aux modèles sur la demande pour adapter l'offre en conséquence.

Les principaux impacts liés aux vacances ont été cités dans la section précédente (voir section 2.4.1, page 33). En considérant la pauvreté des conclusions liées à la fréquentation des transports lors des vacances ou des événements spéciaux, il serait intéressant de quantifier l'ampleur des variations par rapport à l'achalandage régulier.

2.5 Conditions météorologiques et réseaux de transport

De nombreuses études ont pu être trouvées sur l'influence des conditions météorologiques sur les transports, dont les principaux résultats sont synthétisés dans la présente section. En effet, la planification de la circulation, la gestion des opérations routières liées au développement et à l'entretien du réseau ou encore de la sécurité routière font partie de nombreux enjeux dépendant de la connaissance de l'impact des variables météorologiques sur la fréquentation des transports. On constatera cependant que la plupart des publications traite du trafic routier plus que des transports collectifs. De plus, si on peut trouver des résultats chiffrés détaillés pour le trafic routier, ce n'est pas le cas en général en ce qui concerne les transports collectifs.

2.5.1 Variables et indicateurs liés aux conditions météorologiques

Les conditions météorologiques sont fortement dépendantes de la localisation géographique. Certaines régions du monde sont soumises à d'importantes variations climatiques au cours de l'année alors que d'autres présentent des différences saisonnières moins marquées. Il est nécessaire de considérer les conditions climatiques de la région étudiée afin de déterminer les variables pertinentes. De ce fait, la généralisation de l'influence de la météorologie sur plusieurs réseaux de transport est complexe car le comportement des usagers sera sans doute différent d'une région à l'autre en fonction du climat de la zone géographique concernée. Cependant, les modèles générés pour mesurer l'impact des conditions météorologiques sur les transports peuvent être appliqués sur différents réseaux à condition d'avoir été adaptés au climat de la zone d'étude (Cravo, et al., 2009).

Handman (2004) récapitule les grandes classes de variables météorologiques susceptibles d'influencer l'ensemble des modes de transport ainsi que leurs possibles conséquences au niveau des opérations et de la maintenance sur les réseaux. Les types de variables météo et leurs implications sont rassemblés dans le Tableau 2-5 suivant :

Tableau 2-5 - Catégories de variables météorologiques et leurs possibles implications (Handman, 2004)

Type de variable	Conséquences
Conditions givrantes (givre, gel, verglas, glace)	<ul style="list-style-type: none"> - Affecte l'adhérence sur les surfaces; - Peut endommager les installations électriques ; - Augmente les risques liés à la sécurité du personnel et des usagers.
Précipitations gelées (neige, grêle)	<ul style="list-style-type: none"> - Impacts varient en fonction de l'importance de la chute et du niveau d'accumulation; - Implique des retards et de possibles détours; - Rend plus difficile l'accès au réseau pour les usagers; - Complique les opérations de maintenance.
Pluie	<ul style="list-style-type: none"> - Implications similaires aux précipitations gelées; - Possibilité d'inondations menaçant la sécurité des individus et l'intégrité des infrastructures.
Orages majeurs	<ul style="list-style-type: none"> - Menace la sécurité des individus; - Possibilité de destruction des infrastructures; - Perturbations majeures des opérations.
Température extrêmes (positives ou négatives)	<ul style="list-style-type: none"> - Fragilisation des véhicules et des infrastructures; - Peut être annonciateur de précipitations plus sévères.
Visibilité (brouillard, brume, fumée, sable...)	<ul style="list-style-type: none"> - Menace la sécurité des individus; - Implique souvent des délais.
Vents forts (supérieurs à 30mi/h)	<ul style="list-style-type: none"> - Menace la sécurité des individus; - Possibles dommages causés par des débris; - Difficulté d'accès aux stations et arrêts de transport en commun.
Autres (qualité de l'air, tsunamis ...)	<ul style="list-style-type: none"> - Menace la sécurité des individus; - Engendre des problèmes d'opération; - Implique des dommages potentiels des structures.

Les variables météorologiques étudiées dans la littérature sont nombreuses et définies de multiples manières en fonction des données disponibles et du modèle utilisé. Il faut de plus tenir compte du fait que ces variables peuvent agir de manière combinée, ce qui rend l'étude de leurs impacts sur les transports d'autant plus complexe (Guo, et al., 2007; Kalkstein, et al., 2009). Les principales variables météorologiques considérées sont la pluie, la neige et la température. Le brouillard et le vent sont également traités par certains auteurs. Kalstein et al. (2009) ont choisi les différents types de masse d'air afin de tenir compte de l'action combinée des variables classiques.

Une dimension temporelle est souvent associée aux variables météorologiques. La covariable temporelle peut être définie selon plusieurs échelles. En effet, l'impact de la météorologie sur les réseaux de transport dépend du moment de la journée et de la durée du phénomène. En fonction de la granularité temporelle des données disponibles, il est possible d'analyser l'influence des variables météo quotidiennement, en séparant les périodes de jour et de nuit (Cravo, et al., 2009; Keay & Simmonds, 2005) ou par tranches horaires d'extension variée. Hofmann et O'Mahony (2005a) ont ainsi choisi de se concentrer sur les périodes de pointe du matin et du soir pour étudier l'influence de la pluie sur la fréquentation d'un réseau de bus en Irlande.

L'intensité des phénomènes est également un facteur important quant à l'impact sur les transports. En effet, une précipitation d'ampleur mineure n'aura pas forcément d'impact sur la fréquentation des transports contrairement à un phénomène météorologique majeur. La définition de l'intensité des conditions météorologiques est complexe et peut être abordée de plusieurs manières :

- Approche binaire : les variables peuvent être considérées selon une approche binaire, c'est-à-dire que le phénomène a eu lieu ou non. En ce sens, Changnon (1996) fixe un seuil de pluviosité de 0,25 mm pour distinguer un jour pluvieux d'un jour non pluvieux dans la région de Chicago alors que Hofmann et O'Mahony (2005a) ont choisi un seuil de pluviosité de 15 mm pour une ville irlandaise. Guo et al. (2007) considèrent le brouillard selon une approche binaire dans le cadre de leur méthode de comparaison normal-extrême;
- Utilisation de seuils : la définition de seuils est une pratique courante dans la littérature pour tenir compte de l'intensité des phénomènes météorologiques (Changnon, 1996; Cravo, et al., 2009; Guo, et al., 2007; Hofmann & O'Mahony, 2005a; Hogema, 1996; Keay & Simmonds, 2005). L'inconvénient de cette méthode est que les valeurs proposées peuvent paraître arbitraires ou soumises à la subjectivité de l'auteur. En effet, la perception de l'intensité d'un phénomène météorologique telle que chaud, froid, précipitation majeure ou mineure, dépend des individus. Il est possible de remédier à ce problème en basant le choix des seuils sur les « normales saisonnières » de la région d'étude, ce qui revient à définir une référence;

- Détermination d'une référence : l'utilisation d'une référence pour les variables météorologiques, basée sur un historique plus ou moins long, est également une solution pour évaluer l'intensité des phénomènes. Cravo et al. (2009) définissent une référence de température basée sur un historique de 30 ans, qui fait alors office de normale saisonnière, afin de déterminer pour chaque journée étudiée si elle est plus chaude ou plus froide que cette référence. Guo et al. (2007) ont mis au point deux méthodes de comparaison basées sur des conditions météorologiques de référence pour la température, la pluie et la neige. Les références choisies pour ces deux méthodes sont respectivement les conditions du jour précédent et la moyenne sur 30 ans de la variable météo considérée.
- Concept de conditions extrêmes : Al Hassan et Barker (1999) introduisent le concept de conditions extrêmes pour mesurer l'impact de la météorologie sur le trafic routier. Leur approche consiste à sélectionner parmi les données 10% des journées présentant les conditions les plus critiques concernant les températures maximales et minimales, les chutes de pluie et de neige les plus importantes ainsi que le nombre d'heures d'ensoleillement afin de les comparer avec les normales saisonnières. Knapp et Smithson (2000) ont étudié l'impact de 64 tempêtes de neige sur le trafic routier, se concentrant ainsi également sur des conditions très défavorables aux transports.

2.5.2 Différentes influences de la météorologie sur les transports

La compréhension de l'influence des phénomènes météorologiques sur le comportement des usagers constitue un enjeu de taille pour les autorités de transport. En effet, les conditions météorologiques ont tendance à modifier les habitudes des usagers pour diverses raisons (André & Asad, 1997; Cools, Moons, Creemers, & Wets, 2010). Ces raisons sont d'autant plus difficiles à déterminer qu'elles sont généralement liées à la perception propre de l'utilisateur, à son expérience (Maze, Agarwai, & Burchett, 2006) et aux informations diffusées par les différents canaux d'information relativement aux conditions météorologiques et au trafic (Khattak, Polydoropoulou, & Ben-Akiva, 1996).

L'état de l'art sur l'influence des conditions météorologiques sur les transports est présenté à la suite selon trois axes qui sont : les variations de la demande, l'impact sur la sécurité des usagers des réseaux de transport et enfin les changements de mode de transport.

2.5.2.1 Variation de la demande

Les conditions météorologiques peuvent provoquer des variations d'achalandage dans les transports, quel que soit le mode. En effet, certains usagers sont susceptibles de reporter, de supprimer leurs trajets, de changer de mode de transport ou d'itinéraire. Khattak et De Palma (1997) retirent de leur étude auprès de salariés de différentes entreprises à Bruxelles (Belgique) que 54% des automobilistes changent leur mode de transport, leur heure de départ et/ou leur itinéraire en cas de mauvaises conditions météorologiques, l'heure de départ étant la plus impactée. Cools et al. (2010) obtiennent des résultats similaires sur une étude également menée en Belgique, pour laquelle l'impact des conditions météorologiques est différencié selon le type d'activité motivant le trajet. Cette tendance à modifier son comportement par rapport au temps engendre des variations de la demande en transport, notamment en ce qui concerne les volumes d'usagers.

Guo et al. (2007) ont étudié l'influence de la température, de la pluie, de la neige et du vent sur l'achalandage du réseau de transport en commun de Chicago à partir de données de cartes à puce et ont conclu que les conditions défavorables tendent à diminuer la fréquentation, tandis que les bonnes conditions tendent à l'augmenter, dépendamment du mode de transport, de la saison et du jour de la semaine. Les résultats montrent que les usagers des autobus sont plus sensibles aux conditions météorologiques que ceux du train et les usagers de la fin de semaine sont plus impactés que ceux des jours ouvrés. Concernant l'influence de la pluie, l'étude menée par Hofmann et O'Mahony (2005a) montre une tendance générale à la diminution de l'achalandage d'un réseau de transport en commun irlandais pendant les journées pluvieuses, comparativement aux journées non pluvieuses, avec une baisse plus marquée pendant la période de pointe du matin. Relativement aux masses d'air, pour les réseaux de train de trois villes américaines, Kalkstein et al. (2009) arrivent à la conclusion que l'achalandage a tendance à diminuer pour les conditions froides et fraîches (sèches et humides), à augmenter pour les conditions chaudes et

douces (sèches et humides) et que les variations sont plus importantes la fin de semaine par rapport aux jours ouvrés, ce qui est en adéquation avec les études citées plus haut.

En ce qui concerne le trafic routier, la pluie faible et la neige faible semblent avoir des effets dérisoires sur la vitesse et les volumes de véhicules, alors que les fortes précipitations ont un impact non négligeable sur ces deux fonctions, pouvant entraîner une diminution de 10 à 20% des volumes routiers lors de fortes pluies et de 30 à 48% lors des importantes chutes de neige (Ibrahim & Hall, 1994). Al Hassan et Barker (1999) ont conclu de leur étude sur le trafic routier de la région d'Édimbourg (Écosse) que les volumes varient plus la fin de semaine que les jours ouvrés, rapportant des baisses comprises entre 4 et 5% quand les températures sont défavorables par rapport aux normales saisonnières, une diminution de presque 5% lors de fortes chutes de neige et de plus de 15% dans le cas où la neige tient au sol. Keay et Simmonds (2005) ont pu constater que la pluie induit une réduction du trafic routier pour la région de Sydney (Australie), en fonction de la période de la journée ainsi que des saisons. Les jours humides présenteraient une plus grande influence sur le trafic routier l'hiver et le printemps en provoquant des baisses des volumes routiers n'excédant cependant jamais 3%. Changnon (1996) rapporte une légère diminution de fréquentation dans les transports de Chicago lors des pluies estivales, de moins de 1% les jours de semaine et proche de 2% la fin de semaine pour le trafic routier, de 3 à 5% pour les bus et de 2,1% pour les trains. Les volumes routiers n'apparaissent pas impactés par la pluie pendant la semaine mais montrent une diminution de 9% pendant la fin de semaine.

Enfin, Knapp et Smithson (2000) ont mené une étude exclusivement sur l'impact des tempêtes de neige sur le trafic routier en Iowa qui leur a permis de conclure que dans la majorité des cas, les volumes routiers diminuaient de 29% en moyenne. Les diminutions de fréquentation constatées sont comprises entre 16 et 47%, les principales causes de cette plage de variation étant les différences d'intensité et de durée des tempêtes.

Le Tableau 2-6 rapporte les principaux résultats chiffrés rapportés dans la littérature sur l'impact des conditions météorologiques sur les volumes d'utilisateurs des réseaux de transport :

Tableau 2-6 - Principaux résultats de la littérature sur les variations de demande liées à la météorologie sur les réseaux de transport

Auteurs	Recherche	Principales conclusions
Al Hassan & Barker (1999)	Étude de l'impact des conditions météorologiques non saisonnières et extrêmes sur les volumes routiers dans la région d'Édimbourg (Écosse).	<p><u>Jours ouvrés :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Moins d'heures d'ensoleillement, température maximale plus basse que prévue et chute de neige plus importante que prévue : diminution inférieure à 3% du trafic quotidien; - Plus d'heures d'ensoleillement, température maximale plus élevée que prévu et température minimale plus élevée que prévu : légère augmentation du trafic quotidien; - Forte chute de neige : diminution inférieure à 1% du trafic quotidien; - Neige au sol : diminution de 10% du trafic quotidien. <p><u>Fin de semaine :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Températures maximales et minimales moins élevées que prévu : diminution comprise entre 4 et 5% du trafic quotidien; - Forte chute de neige : diminution proche de 5% du trafic quotidien; - Neige au sol : diminution de plus de 15% du trafic quotidien.
Keay & Simmonds (2005)	Étude de l'impact de la pluie sur le trafic routier dans la région de Sydney (Australie) en tenant compte des périodes de jour et de nuit ainsi que des différentes saisons.	<p><u>Volumes quotidiens :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Au global : diminution de 1,29% par rapport aux jours secs; - Hiver : diminution de 1,35% par rapport aux jours secs; - Printemps : diminution de 2,11% par rapport aux jours secs. - Automne et été non significatifs. <p><u>Volumes de jour :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hiver : diminution de 1,86% par rapport aux jours secs; - Printemps : diminution de 2,16% par rapport aux jours secs.

Auteurs	Recherche	Principales conclusions			
		<u>Volumes de nuit :</u> - Hiver : diminution de 0,87% par rapport aux jours secs; - Printemps : diminution de 2,91% par rapport aux jours secs.			
Guo, Wilson & Rahbee (2007)	Étude de l'impact de la météo sur l'achalandage des bus et des trains (Chicago, US) en tenant compte du mode, du jour de la semaine et des saisons.	Nombre moyen d'usagers (jour de semaine) : 1 000 000 (bus) + 500 000 (train) <u>Température :</u> - Augmentation de 1°C : 400 à 700 usagers de plus pour le bus et entre 300 et 500 pour le train; - Résultats non significatifs pour des températures froides. <u>Pluie :</u> - 1 po quotidien: diminution de 16 000 à 22 000 usagers pour le bus et entre 5 000 et 8 000 pour le train; - Très forte pluie (>0,6 po) : impact accru, particulièrement pour le bus. <u>Neige :</u> - 1 po quotidien: diminution de 6 000 à 2 000 usagers pour le bus. Impact moins évident sur le train. <u>Vent :</u> - Augmentation de 1mph : diminution de 800 à 1 300 usagers pour le bus, impact négligeable pour le train. <u>Brouillard :</u> - Tend à augmenter l'achalandage et semble avoir plus d'effet sur le train que sur le bus.			
Kalkstein, Kuby,	Étude de l'influence des différentes	ΔAchalndage	Chicago	San Francisco	Hudson-Bergen

Auteurs	Recherche	Principales conclusions			
Gerrity & Clancy (2009)	masses d'air sur l'achalandage de trois réseaux de train américains : Chicago (CTA), Baie de San Francisco (BART) et Hudson-Bergen (NJT).	DM (doux/sec)	+1,4%	+0,7%	+2,3%
		DP (froid/sec)	-0,3%	-2,8%	-0,2%
		DT (chaud/sec)	+1,1%	+ 1,1%	+1%
		MM (frais/humide)	-1%	-0,2%	-2,9%
		MP (froid/humide)	-0,8%	-1,1%	-3,8%
		MT (chaud/humide)	+0,7%	+0,2%	+0,6%
		TR (transition)	-1,4%	-0,7%	-1,5%
		MT+ (très chaud/humide)	-0,1%	-0,1%	+0,7%
Cools, Moons, Creemers & Wets (2010)	Étude de l'impact des conditions météorologiques sur les comportements de déplacement des individus en tenant compte du but des trajets.	<u>Trajet récurrent (travail, études) :</u> - Neige : plus de 50% des usagers reportent le trajet et 50% changent leur itinéraire; - Brouillard, orages, fortes pluies : impact principalement sur le minutage du trajet. <u>Trajet pour les courses :</u> - Neige : 70% d'annulations et de reports; - Fortes pluies, forts vents ou orages : jusqu'à 60% de reports et 50% d'annulations. <u>Trajet pour les loisirs :</u> - Neige : 65% d'annulations et de reports; - Fortes pluies et forts vents : 45% d'annulations et de reports.			

2.5.2.2 Sécurité sur le réseau de transport

Plusieurs études traitent des interactions de la météorologie sur les réseaux de transport relativement à son influence sur la sécurité des usagers, principalement sur la vitesse des véhicules, sur la fréquence et la gravité des accidents.

La vitesse des véhicules sur les réseaux routiers est influencée par l'état de la chaussée, la visibilité et la vitesse du vent, du fait qu'à partir de certaines conditions critiques, la plupart des conducteurs adaptent leur comportement pour maintenir leur sécurité, pouvant réduire leur vitesse de 35 à 45km/h à cause d'importantes chutes de neige (Kyte, Khatib, Shannon, & Kitchener, 2001). Ibrahim et Hall (1994) ont quant à eux pu constater une baisse de la vitesse des véhicules de 5 à 10km/h lors d'une forte pluie et de 38 à 50km/h lors d'une abondante chute de neige.

Plusieurs études rapportent une augmentation du nombre d'accidents pendant les conditions météorologiques défavorables, augmentation pouvant être dramatique pendant les tempêtes de neige. Maze et al. (2006) se sont intéressés à l'impact de la pluie, de la neige, du brouillard, du froid et du vent sur les volumes routiers, la sécurité et les interrelations entre les flux routiers. Ils ont remarqué que de mauvaises conditions climatiques augmentent la probabilité d'accidents. Andrey et al. (2003) ont trouvé, d'après l'étude des conditions météorologiques défavorables sur les transports pour six villes canadiennes, qu'en moyenne les précipitations provoquent une augmentation de 75% des accidents de la route et de 45% des blessures engendrées, comparativement à des conditions saisonnières normales et dépendamment des caractéristiques du phénomène climatique. Dans la région de Chicago, le nombre d'accidents double en milieu urbain pendant les jours de pluie avec une augmentation de 30% en agglomération et le nombre de blessures paraît augmenter de 55% en milieu urbain et rural, toujours dans des conditions pluvieuses (Changnon, 1996). L'intensité de la pluie joue également un rôle car il y aurait trois fois plus d'accidents pendant les fortes pluies par rapport aux jours secs. Khattak et al. (2000) ont quand à eux conclu d'après une étude menée aux États-Unis que des conditions neigeuses augmentent le nombre d'accidents dramatiquement, en le multipliant par treize par rapport aux conditions non neigeuses. Ils avancent également que la durée et l'intensité de la chute de neige ont un impact significatif sur le nombre d'accidents.

Cependant, les résultats publiés sont parfois contradictoires avec les affirmations précédentes. Edwards (1998) conclue qu'en Grande Bretagne des conditions pluvieuses ont bien tendance à augmenter la fréquence des accidents de la route mais impliquent des blessures moins graves que durant les jours secs, sans doute parce que les conducteurs sont tout de même plus prudents sur route mouillée. En menant une étude aux États-Unis sur l'impact des chutes de neige sur la fréquence et la gravité des accidents de la route, Eisenberg et Warner (2005) ont constaté que, même si les blessures et les dégâts matériels augmentent, les accidents entraînant la mort présentent une diminution, principalement parce que les conducteurs se fient à leur expérience pour adapter leur conduite sous la neige de la même manière que lorsqu'ils roulent sur route mouillée. Enfin, les conducteurs présentent une capacité d'adaptation aux conditions climatiques qui fait que la première neige de l'année cause généralement plus d'accidents que les autres (Eisenberg & Warner, 2005) et que les précipitations survenant après un ou plusieurs jours de mauvais temps ne provoquent pas autant d'accidents que le premier jour de conditions défavorables (Eisenberg, 2004).

2.5.2.3 Changement de mode de transport

La sécurité, le confort et les temps de trajet des différents modes de transport pouvant être remis en cause selon les conditions météorologiques, certains usagers peuvent être enclins ou contraints de changer de mode de transport, quand cela leur est possible. De plus, les décisions sur le choix du mode de transport sont liées aux orientations sociales de chaque individu, qui peut être plutôt tourné vers ses préférences personnelles ou plus sensible au bien de la collectivité (Van Vugt, Meertens, & Van Lange, 1995). La compréhension de ces mécanismes est d'un intérêt certain pour les autorités civiles et de transport qui cherchent en général à orienter les usagers vers les transports en commun, principalement pour désengorger le réseau routier et pour des préoccupations environnementales. Les changements de mode peuvent en partie expliquer les variations de la demande des réseaux de transport. Cependant, l'analyse des comportements des usagers quant au choix du mode de transport relatif aux conditions météorologiques sont hautement complexes. Par exemple, Kalkstein et al. (2009) soulèvent le fait que la décision de changer de mode lors de conditions météorologiques défavorables de transport chez certains usagers ne se répercutera pas forcément sur l'achalandage. En effet, les phénomènes peuvent se compenser car même si des automobilistes empruntent exceptionnellement les transports en

commun pour éviter des conditions de conduite désagréables liées à la météorologie, tels que l'état de route non sécuritaire ou la congestion, des usagers des transports collectifs sont susceptibles quand à eux d'utiliser leur voiture personnelle, notamment ceux ayant un long temps de marche pour se rendre à leur station ou arrêt par exemple.

Parmi les répondants de l'étude menée par Khattak et De Palma (1997) qui changent leurs habitudes en raison de mauvaises conditions météorologiques, 32,9% affirment que les conditions météorologiques influencent les changements de mode de transport de manière très importante et 21,8% de manière importante. Ces résultats placent le choix de changer de mode un peu après celui de déplacer l'heure de départ. Guo et al. (2007) avancent que les tempêtes de neige peuvent provoquer une augmentation de la fréquentation des bus et des trains à cause d'un transfert des automobilistes vers les transports en commun, particulièrement les jours de semaine. De même, le brouillard implique des difficultés pour la conduite, les conducteurs ont alors tendance à utiliser les transports collectifs, principalement le train. Cools et al. (2010) avancent quant à eux que les individus ont plus tendance à changer leurs habitudes pour un mode de transport plus lent (marche, vélo) par des températures douces ou chaudes pour leurs trajets liés aux courses et aux loisirs.

2.6 Conclusion de la revue de littérature

Cette revue de littérature visait à dresser un état des lieux sur l'avancement des recherches concernant d'une part la collecte des données en transport et d'autre part sur l'achalandage des réseaux. Par rapport à la collecte de données, l'étude des différentes méthodes existantes permet de conclure que la technologie de la carte à puce est extrêmement prometteuse pour les études futures, principalement par rapport aux grands volumes de données générés et au caractère continu des données. Une autre caractéristique très intéressante de l'utilisation du système de perception par carte à puce est la possibilité d'enrichissement des données avec d'autres sources pouvant être très diverses. Concernant l'analyse de l'achalandage sur les différents réseaux de transport, on a pu constater que de nombreuses études avaient été réalisées mais la plupart restent au stade de l'étude exploratoire et qu'il existe de nombreuses perspectives d'étude notamment dans le domaine du transport collectif, ce que l'on se propose d'approfondir dans cette recherche.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Présentation de la méthodologie de recherche

Le déroulement de la méthodologie adoptée s'organise comme présenté par la Figure 3-1 :

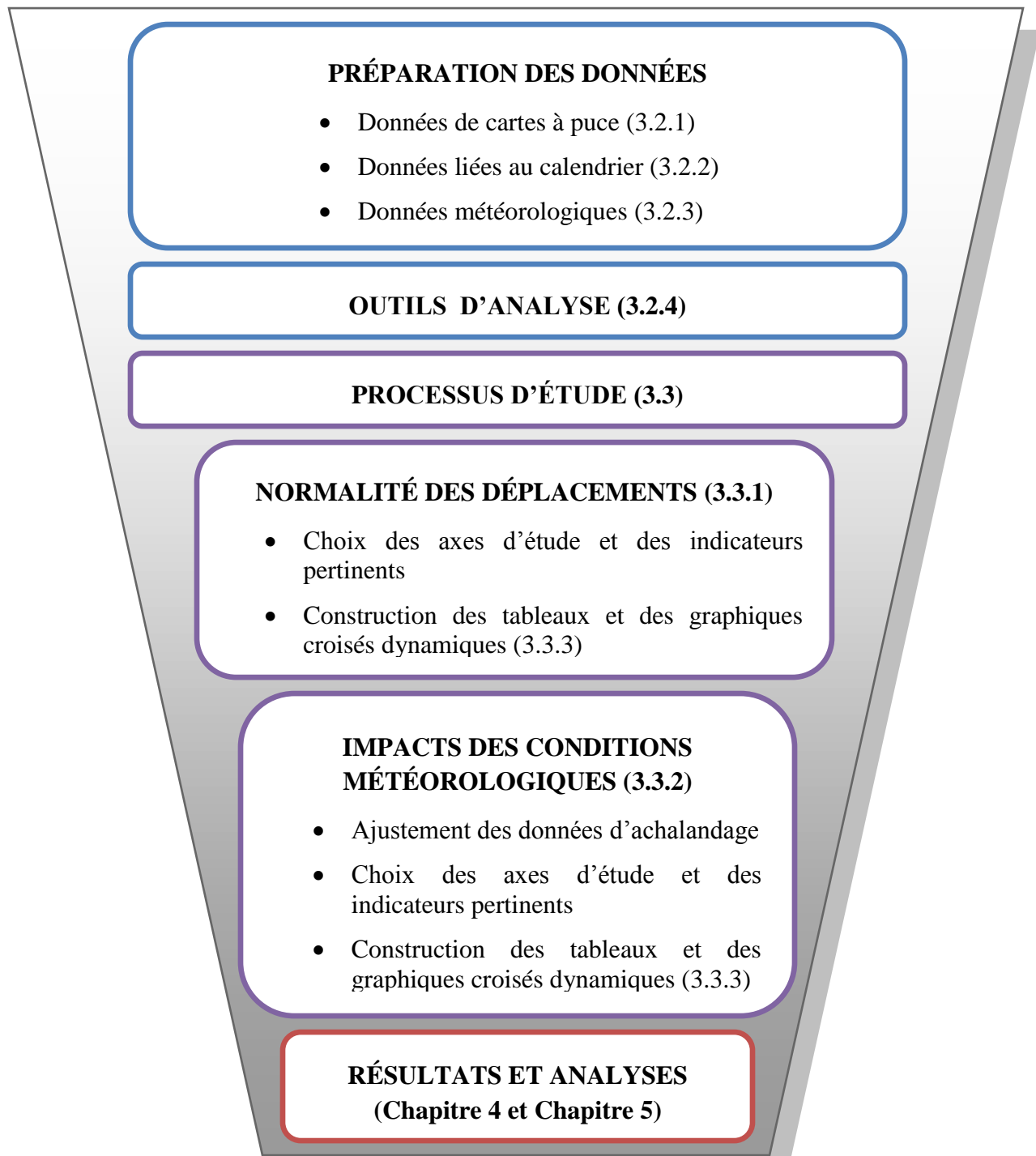


Figure 3-1 - Représentation schématique de la méthodologie de recherche

3.2 Présentation des données et des outils

3.2.1 Données de cartes à puce

Le cas d'étude abordé lors de cette recherche est le réseau de transport de la STO. En effet, cette société de transport utilise un système par cartes à puce pour la perception des transactions depuis 2001. Les données fournies par la STO pour cette étude couvrent la période du 1^{er} janvier 2004 au 20 novembre 2009, soit presque six ans de transactions. Il est important de souligner qu'aucune étude de données de cartes à puce sur une aussi longue période n'a été recensée avant cette étude. Les principaux avantages des données de carte à puce telles que celles exploitées au cours de cette recherche sont la continuité des données ainsi que la longueur de la période d'étude. Les exigences de confidentialité constitueront cependant une barrière pour l'étude en bloquant l'accès aux informations individuelles de base telles que le genre et l'âge de l'utilisateur. Les seules informations concernant l'utilisateur seront les informations sur la tarification.

3.2.1.1 Le système d'information

La technologie de cartes à puce utilisée sur le réseau de la STO est de type « sans contact ». L'utilisateur voulant accéder à un autobus de la STO doit passer sa carte à proximité du lecteur prévu à cet effet. Lors de ce processus de validation, un signal est transmis entre la carte de l'utilisateur et la borne ce qui provoque la transmission des données enregistrées sur la puce, telles que l'identifiant, le type de titre et la date de validité, au système de traitement du lecteur. Cette action de validation provoque un signal lumineux et sonore émis par le lecteur attestant de la validité ou de la péremption du titre. Trépanier et al. (2004) ont proposé un diagramme fonctionnel du système de paiement de la STO présenté à la Figure 3-2.

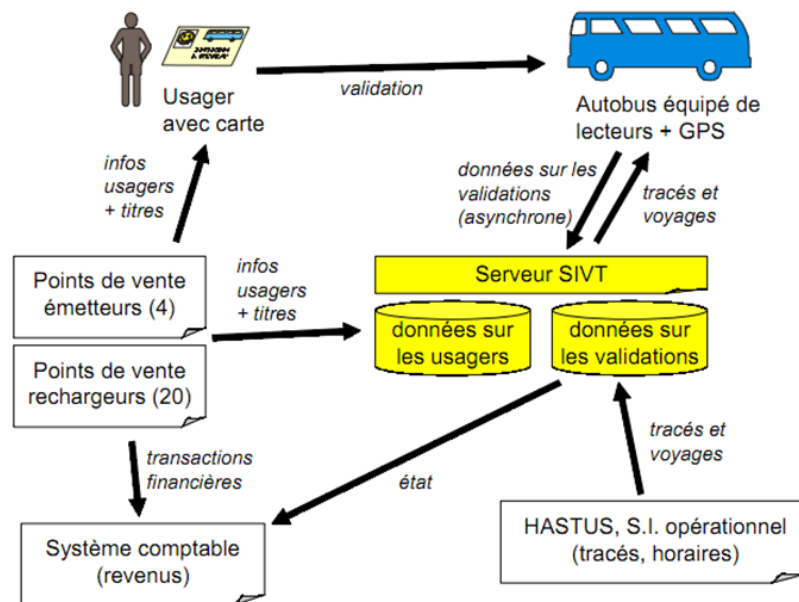


Figure 3-2 - Diagramme fonctionnel du système de paiement par carte à puce de la STO
(Trépanier, et al., 2004)

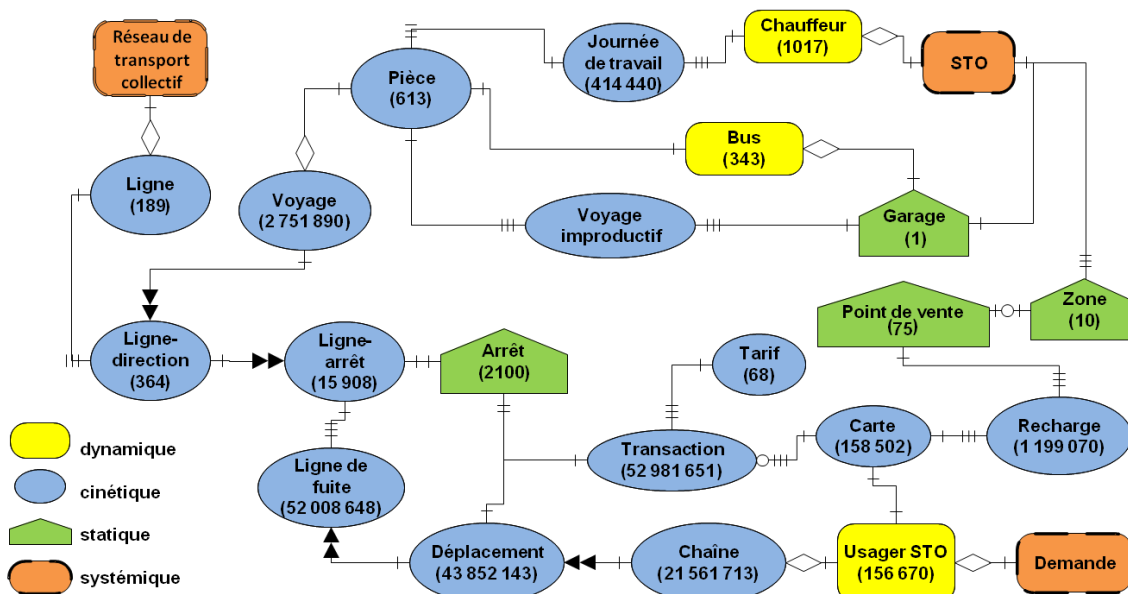
Chaque véhicule est équipé d'un lecteur, d'un système GPS ainsi que d'un micro-ordinateur contenant les données sur les tracés et horaires générées par le système d'information opérationnel HASTUS de la STO et transmises via le serveur SIVT (System Integration Verification and Test). Lors du retour au garage de l'autobus, les données sur les validations sont téléchargées grâce à un système infrarouge de l'ordinateur de bord au serveur SIVT. Sur le diagramme, on peut voir que les données sur les usagers et celles sur les validations sont stockées dans des bases de données séparées pour respecter les restrictions sur la confidentialité. Les systèmes annexes sont liés aux points de vente, émetteurs ou de recharge, et à la gestion de la comptabilité de la STO. Le terme « validation » désigne chaque fois où un signal a été émis entre le lecteur et une carte. Dans l'étude menée, on désigne par le terme « transaction » les montées effectives à bord des véhicules.

La Figure 3-3 présente le modèle « orienté-objet » du système de perception par cartes à puce de la STO sur la période d'étude. L'approche appliquée par Trépanier et Chapleau (2001), pour relier les différents objets des enquêtes origine-destination, peut être appliquée aux données collectées par carte à puce pour proposer une vision désagrégée des informations disponibles. La modélisation orientée-objet en transport (MOOT) consiste à conceptualiser un problème de

transport en classant les différents « objets » constitutifs du système étudié selon quatre grandes classes d'objets de transport (Trépanier, et al., 2004; Trépanier & Chapleau, 2001) :

- Les *objets dynamiques* : ces objets sont mobiles et désignés comme les « acteurs » du transport, ce sont les individus ou groupes d'individus et les véhicules;
- Les *objets statiques* : ces objets sont fixes temporellement et spatialement, ce sont principalement des infrastructures, des équipements fixes ou des découpages géographiques;
- Les *objets cinétiques* : ces objets permettent de décrire les mouvements entre les objets statiques et dynamiques principalement;
- Les *objets systémiques* : ces objets sont des ensembles d'objets inter-reliés tels que le réseau, la STO et la demande dans notre modélisation.

La Figure 3-3 présente les liens entre les différents objets identifiés du modèle ainsi que le dénombrement de chacun de ces objets sur toute la durée de la période d'étude, soit les 2 151 dates de données.



3.2.1.2 Le réseau et les différentes tarifications

Afin de comprendre les informations disponibles grâce aux données de cartes à puce, il est nécessaire de prendre connaissance de l'organisation du réseau présenté à la Figure B - 1 (voir ANNEXE B, page 171) ainsi que les différentes tarifications en vigueur grâce au Tableau 3-1.

Le réseau est divisé en six secteurs, principalement sur la rive Nord de la rivière des Outaouais. En effet, la ville d'Ottawa sur la rive Sud est desservie par la société de transport en commun OC Transpo³¹. Seules certaines lignes du réseau de la STO traversent la Rivière des Outaouais pour faire la jonction avec le réseau de transport de la capitale.

La STO propose plusieurs types de services contribuant à définir les différentes tarifications proposées aux usagers³² :

- Le *service hors-pointe* : ce service est opérationnel du lundi au vendredi à l'extérieur des deux périodes de pointe quotidiennes de 6h à 9h et de 15h à 18h et pendant la fin de semaine.
- Le *service aux heures de pointe* : ce service est opérationnel du lundi au vendredi à l'intérieur des heures de pointe. Le service aux heures de pointe est lui-même subdivisé en trois types de services :
 - Régulier (R): ce service concerne la majorité des lignes du service aux heures de pointe;
 - Express (E): ce service propose quatre lignes comportant des zones d'embarquement et des zones de débarquement réservées à la descente du véhicule, ce qui rend le service plus rapide;
 - Interzone (I): ce service comporte deux lignes empruntant l'autoroute pour relier les secteurs Masson-Anger et Buckingham aux secteurs Hull et Ottawa.

³¹ OC Transpo, « Accueil ». Consulté le 17 avril 2011. Tiré de <http://www.octranspo1.com/accueil>

³² Société de Transport de l'Outaouais. « Types de services ». Consulté le 17 avril 2011. Tiré de http://www.sto.ca/tarification/services_f.html

Les différents tarifs proposés aux usagers de la STO reposent sur le type de service accessible, sur l'activité et/ou de la classe d'âge, de la durée de l'abonnement et du mode de paiement. Le Tableau 3-1 présente un récapitulatif simplifié des différents tarifs en vigueur.

Tableau 3-1 – Système de tarification simplifié de la STO

Type d'utilisateur	Type de titre	Support	Type de service (R, E et I)	Mode de paiement
Adultes	Abonnement mensuel	Carte à puce	Tarifs différenciés	Comptant ou carte de débit
	Abonnement annuel – Programme FIDÉLITÉ	Carte à puce	Tarifs différenciés	Prélèvement bancaire automatique
	Billets adultes (unité ou carnet)	Papier	Tarifs différenciés	Comptant ou carte de débit
Étudiants – 20 ans et moins	Abonnement mensuel	Carte à puce	Tarifs différenciés	Comptant ou carte de débit
	Abonnement d'été (juillet et août)	Carte à puce	Tarifs différenciés	Comptant ou carte de débit
	Billets étudiants/ainés (unité ou carnet)	Papier	Tarifs différenciés	Comptant ou carte de débit
Étudiants – 21 ans et plus	Abonnement semestriel Cam-Puce (régulière, UQO ou Cégep)	Carte à puce	Tarifs différenciés	Comptant ou carte de débit
	Billets adultes	Papier	Tarifs différenciés	Comptant ou carte de débit
Aînés – 65 ans et plus	Abonnement mensuel	Carte à puce	Tarif unique	Comptant ou carte de débit
	Abonnement annuel – Programme FIDÉLITÉ	Carte à puce	Tarif unique	Prélèvement bancaire automatique
	Billets étudiants/ainés	Papier	Tarifs différenciés	Comptant ou carte de débit

La colonne « Type de service » indique s'il existe des tarifs différents selon le type de service considéré (Régulier, Express et Interzone). Dans le cas où le tarif est « unique », l'abonnement ne donne accès qu'au service régulier.

3.2.1.3 Informations utiles sur les transactions des usagers de la STO

À partir de la base de données fournie par la STO, qui contient les données issues du système de cartes à puce, une requête SQL permet d'extraire les champs jugés utiles pour l'étude dans un fichier texte tel que présenté à la Figure 3-4.

datecomp	AD_REG	AD_EXP	AD_INT	ETUDIANTS	AUTRES	PB_AD_REG	PB_AD_EXP	PB_AD_INT	PB_AINES	COLL_UNIV	AINES	nb_montees
2004-01-01 00:00:00	189	8	0	0	0	20	3	0	2	21	18	261
2004-01-02 00:00:00	3095	552	111	0	10	393	171	26	20	112	279	4769
2004-01-05 00:00:00	10408	3480	704	0	32	1222	880	157	40	638	604	18165
2004-01-06 00:00:00	11816	4059	821	0	41	1296	997	169	36	746	614	20595
2004-01-09 00:00:00	10380	3468	715	32	26	1127	790	159	15	803	398	17913
2004-01-10 00:00:00	2368	115	6	0	9	186	15	0	9	288	284	3280
2004-01-13 00:00:00	12173	4116	901	0	26	1259	974	172	29	1124	408	21182
2004-01-14 00:00:00	11402	3854	836	0	33	1199	894	163	18	1144	388	19931
2004-01-18 00:00:00	1932	78	13	0	10	146	4	0	14	239	221	2657
2004-01-19 00:00:00	11996	4029	832	0	31	1281	940	153	32	1216	558	21068
2004-01-22 00:00:00	12240	4037	843	1	27	1308	917	166	26	1146	513	21224
2004-01-23 00:00:00	11050	3509	757	0	38	1210	834	147	18	1050	470	19083
2004-01-26 00:00:00	11600	3932	802	0	31	1255	910	157	27	1162	482	20358
2004-01-27 00:00:00	12202	4176	869	0	28	1314	986	174	32	1189	527	21497
2004-01-31 00:00:00	2652	156	26	0	9	210	16	2	18	309	410	3808
2004-02-01 00:00:00	1757	79	18	0	14	158	17	0	15	284	256	2598
2004-02-04 00:00:00	13024	4244	855	1	32	1345	1021	174	34	1218	517	22465
2004-02-05 00:00:00	13230	4291	832	0	38	1320	1036	179	33	1182	710	22851
2004-02-08 00:00:00	2241	84	18	0	14	150	16	0	5	271	245	3044
2004-02-09 00:00:00	13129	4117	853	0	35	1283	1014	175	36	1161	617	22420
2004-02-12 00:00:00	13476	4303	872	0	28	1315	1031	164	42	1186	627	23044
2004-02-13 00:00:00	12022	3684	693	0	40	1194	846	136	36	1083	573	20307
2004-02-14 00:00:00	3148	180	33	0	11	213	25	4	16	342	353	4325

Figure 3-4 – Champs extraits des données de cartes à puce de la STO

L'identifiant de chaque enregistrement est la date, ces identifiants étant rassemblés sous le champ « datecomp ». Les autres champs désignent les différents types d'usagers d'après le système de tarification présenté dans le Tableau 3-1. En effet, bien que la base de données sur les usagers et celle sur les validations soient dissociées pour des raisons de confidentialité, l'étude à partir des types de carte connus d'après la tarification permet d'avoir une idée des activités des usagers. Ainsi, les champs extraits par date de données sont :

- « AD_REG », « AD_EXP » et « AD_INT » : ces champs comportent la somme des transactions réalisées par les cartes à puce des usagers Adultes par date de données, pour lesquelles le paiement est réalisé comptant ou par carte de débit et en distinguant les tarifs Réguliers, Express et Interzone.

- « PB_AD_REG », « PB_AD_EXP » et « PB_AD_INT » : ces champs comportent la somme des transactions réalisées par les cartes à puce des usagers Adultes adhérant au programme FIDÉLITÉ par date de données, pour lesquelles le paiement est un prélèvement bancaire automatique et en distinguant les tarifs Réguliers, Express et Interzone.
- « ÉTUDIANTS » : ce champ donne la somme des transactions réalisées grâce aux abonnements mensuels et abonnements d'été des étudiants de 20 ans et moins, soit fréquentant les cycles du primaire et du secondaire.
- « COLL_UNIV » : ce champ donne la somme des transactions réalisées par les abonnements Cam-Puce des étudiants de 21 ans et plus, soit fréquentant les collèges et universités.
- « AINÉS » et « PB_AINÉS » : ces deux champs présentent respectivement la somme des transactions réalisées avec des titres ainés classiques réglés en argent comptant ou par carte de débit et la somme des transactions réalisées par les adhérents au programme FIDÉLITÉ dont le règlement se fait par paiement bancaire.
- « AUTRES » : ce champ comporte la somme des transactions réalisées par les autres types de titre tels non cités ci-dessus (handicapés, titres exceptionnels à l'occasion d'événements spéciaux ...). Ce type de titre ne sera pas considéré dans l'étude, sauf dans le cas où on considèrera l'achalandage total, car le nombre d'utilisateurs concernés est très faible et que leur fréquentation ne suit aucun schéma exploitable.
- « nb_montees » : ce champ comporte la somme des transactions par date de données de tous les champs cités précédemment.

Ces données ont été importées dans Excel afin d'être enrichies par des données du calendrier et par les données météorologiques présentées dans les sections suivantes puis sont analysées selon différents axes d'étude.

3.2.2 Données liées au calendrier

À partir des données de la STO, le seul découpage temporel disponible est la journée. Or, dans les études à venir, il sera intéressant de considérer les données de cartes à puce à d'autres

échelles temporelles afin de filtrer les données en fonction des besoins de l'analyse. Dans Excel, on complète donc les champs présents dans les données de la STO avec les champs suivants :

- « JOURS_LIB » : ce champ contient le libellé des jours, de lundi à dimanche, pour chaque date de données;
- « SEM_NUM » : ce champ permet de numéroter les semaines pour chaque année de la période d'étude. Le décompte des semaines est réinitialisé à 1 au premier lundi de chaque année. Les semaines sont numérotées de 1 à 52 ou 53 selon l'année considérée;
- « MOIS_NUM » : ce champ permet de numéroter les mois de 1 à 12 pour chaque année de la période d'étude, 1 étant le mois de janvier et 12 le mois de décembre;
- « ANNEE » : ce champ indique l'année considérée, de 2004 à 2009, pour chaque date de données.

Concernant les jours fériés, on trouve les dates sur le site internet du gouvernement du Québec³³ et sur le site internet du Ministère du travail de l'Ontario³⁴. Les jours fériés pour les deux provinces sont donnés dans le Tableau 3-2. De plus, le Tableau D - 1 à l'ANNEXE D (page 177) donne les dates des jours fériés sur la période d'étude.

Tableau 3-2 - Jours fériés au Québec et en Ontario

Province	Jours fériés
Québec et Ontario	<u>Jour de l'an</u>
Ontario	<u>Jour de la famille</u> Férié depuis 2008.
Québec et Ontario	<u>Vendredi Saint</u> Au Québec, les employeurs donnent le choix entre le vendredi saint ou le lundi de Pâques.
Québec	<u>Lundi de Pâques</u> Au Québec, les employeurs donnent le choix entre le vendredi saint ou le lundi de Pâques.

³³ Gouvernement du Québec, « Vivre au Québec : jours fériés ». Consulté le 18 avril 2011. Tiré de http://www.gouv.qc.ca/portail/quebec/international/general/quebec/mode_de_vie/conges/jours_feriers/

³⁴ Ontario, Ministère du travail, « Jours fériés ». Consulté le 18 avril 2011. Tiré de <http://www.labour.gov.on.ca/french/es/pubs/guide/publicolidays.php>

Province	Jours fériés
Québec	<u>Journée des Patriotes</u> En hommage à la lutte des patriotes de 1837-1838, le lundi précédant le 25 Mai est un jour chômé au Québec.
Ontario	<u>Fête Victoria</u> En souvenir de l'anniversaire de la reine d'Angleterre Victoria
Québec	<u>Fête du Québec</u> Aussi appelé Saint Jean-Baptiste, si le 24 Juin est un dimanche, ce jour férié est reporté au 25 Juin.
Québec et Ontario	<u>Fête du Canada</u> Si le 1 ^{er} Juillet est un dimanche, ce jour férié est reporté au 2 Juillet.
Ontario	<u>Colonel By Day</u> Le 1 ^{er} lundi d'Août.
Québec et Ontario	<u>Fête du travail</u> Le 1 ^{er} lundi de Septembre.
Québec et Ontario	<u>Action de grâces</u> Aussi appelé Thanksgiving, le jour de l'action de grâce est célébré le deuxième lundi d'Octobre au Canada.
Québec	<u>Jour du souvenir</u> Le 11 Novembre n'est pas un jour férié officiel au Québec mais les administrations et les banques sont fermées en théorie.
Québec et Ontario	<u>Noël</u>
Ontario	<u>Lendemain de Noël</u>

Les données sont donc également complétées avec les champs suivants :

- « JF_QC » et « JF_ONT » : ces champs permettent de signaler lorsqu'une date de données est un jour férié, en différenciant Québec et Ontario, grâce à une variable binaire qui prend la valeur 1 si l'enregistrement est un jour férié et 0 sinon;
- « JF_QC_DESCR » et « JF_ONT_DESCR » : ces champs permettent de compléter la variable binaire des champs « JF_QC » et « JF_ONT » en donnant l'intitulé de chaque jour férié (ex : Jour de l'an).

Enfin, concernant le calendrier, il convient de prendre en compte les périodes de vacances, principalement pour l'étude sur les titres étudiants. Cependant, il apparaît que les périodes de vacances sont difficiles à définir car elles diffèrent selon les établissements et le niveau d'étude.

De plus, les autres types d'usagers peuvent également être concernés particulièrement pour les périodes des fêtes et la période estivale. Ainsi, les périodes de vacances pour les titres « ETUDIANTS », « COLL_UNIV » et les différents titres Adultes seront définis à partir des données de cartes à puce lors de l'étude sur la normalité des déplacements (voir section 4.3, page 95). À ce stade de l'étude, les données seront complétées avec les champs suivants :

- « VAC_AD » et « VAC_AD_DESCR » : ces champs concernent les titres Adultes. Comme pour les jours fériés, pour chaque date de données, « VAC_AD » prend une valeur binaire et « VAC_AD_DESCR » donne l'intitulé de la période de vacance concernée (ex : Noël);
- « VAC_ET », « FIN_SESSION_ET » et « VAC_ET_DESCR » : ces champs concernent les titres « ETUDIANTS ». De nouveau, « VAC_ET » prend une valeur binaire et « VAC_ET_DESCR » donne l'intitulé de la période de vacance concernée. Le champ « FIN_SESSION_ET » concerne des périodes à l'achalandage particulier qui seront définies par la suite et qui correspondent principalement aux périodes d'examen et de fin de session;
- « VAC_COLL », « FIN_SESSION_COLL » et « VAC_COLL_DESCR » : ces champs ont la même définition que le point précédent en ce qui concerne les étudiants « COLL_UNIV ».

La Figure 3-5 illustre les différents champs ajoutés aux données en lien avec le calendrier.

	A	B	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	datecomp	JR_LIB	SEM_NUM	MOIS_NUM	ANNEE	JF_QC	JF_QC_DESCR	JF_ONT	JF_ONT_DESCR	VAC_AD	VAC_AD_DESCR	VAC_ET	FIN_SESSION_ET	VAC_ET_DESCR	VAC_COLL	FIN_SESSION_COLL	VAC_COLL_DESCR
721	2005-12-20	mardi	51	12	2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	fin session
722	2005-12-21	mercredi	51	12	2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	fin session
723	2005-12-22	jeudi	51	12	2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	fin session
724	2005-12-23	vendredi	51	12	2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	fin session
725	2005-12-24	samedi	51	12	2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	fin session
726	2005-12-25	dimanche	51	12	2005	1	noël	1	noël	0	0	0	0	0	0	1	fin session
727	2005-12-26	lundi	52	12	2005	0	0	1	lendemain de Noël	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
728	2005-12-27	mardi	52	12	2005	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
729	2005-12-28	mercredi	52	12	2005	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
730	2005-12-29	jeudi	52	12	2005	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
731	2005-12-30	vendredi	52	12	2005	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
732	2005-12-31	samedi	52	12	2005	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
733	2006-01-01	dimanche	52	1	2006	1	jour de l'an	1	jour de l'an	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
734	2006-01-02	lundi	1	1	2006	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
735	2006-01-03	mardi	1	1	2006	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
736	2006-01-04	mercredi	1	1	2006	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
737	2006-01-05	jeudi	1	1	2006	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
738	2006-01-06	vendredi	1	1	2006	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
739	2006-01-07	samedi	1	1	2006	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
740	2006-01-08	dimanche	1	1	2006	0	0	0	0	1	Noël	1	0	Noël	1	0	Noël
741	2006-01-09	lundi	2	1	2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
742	2006-01-10	mardi	2	1	2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
743	2006-01-11	mercredi	2	1	2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 3-5 - Champs liés au calendrier

3.2.3 Données météorologiques

La dernière phase d'enrichissement des données de cartes à puce concerne les données sur les conditions météorologiques. Les données météorologiques utilisées sont issues des Archives nationales d'information et de données météorologiques³⁵ accessibles par le site internet d'Environnement Canada. La station météorologique la plus proche du réseau de la STO est située à l'aéroport international d'Ottawa dont la visualisation Google Map est donnée à la Figure 3-6.

³⁵ Environnement Canada, «Archives nationales d'information et de données météorologiques ». Consulté le 15 mai 2010. Tiré de http://www.climat.meteo.gc.ca/Welcom_e.html

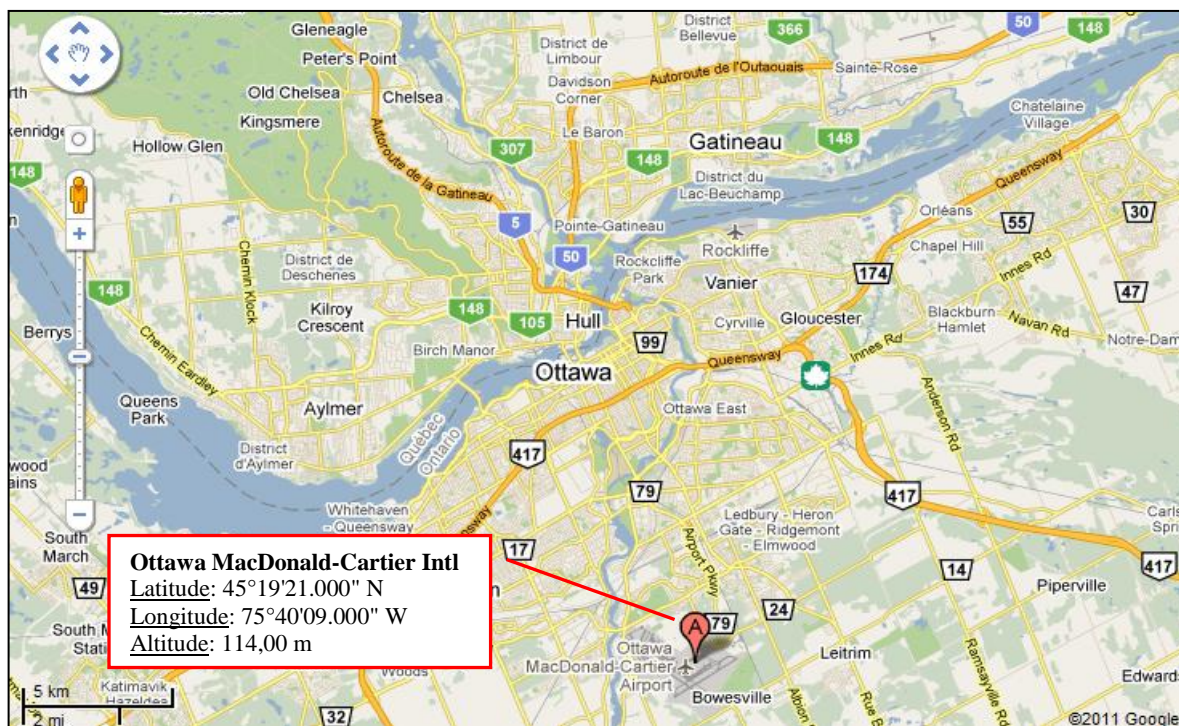


Figure 3-6 - Localisation de la station météorologique de l'aéroport international d'Ottawa

Les données de cartes à puce utilisées sont téléchargées « en bloc » pour les années de 2004 à 2009 dans des fichiers « .csv ». Les données météorologiques sont par la suite importées dans Excel.

Les champs disponibles dans ces fichiers sont entre autres la date des données qui servira à faire la jointure avec les données de cartes à puce, les températures, les précipitations, les vents et différents indicateurs météo. Les champs retenus pour enrichir les données de cartes à puce sont les suivants :

- « Temp. Max », « Temp. Min » et Temp. Moy » : ces champs donnent quotidiennement la température maximale, la température minimale et la température moyenne respectivement;
- « Pluie tot. », « Neige tot. » et « Neige au sol » : ces champs donnent quotidiennement la pluviosité totale en mm, la quantité de neige tombée totale en cm et la neige accumulée au sol en cm respectivement;

- « Vit. Raf. Max » et « Dir. Raf. » : ces champs donnent quotidiennement la vitesse maximale des rafales de vent en km/h et la direction des rafales en dizaine de degré respectivement.

La Figure 3-7 illustre les différents champs ajoutés aux données en lien avec le calendrier.

	A	B	D	E	F	G	H	I	J	K	M	N	O
	datecomp	JOUR_LIB	SEM_NUM	ANNEE	MOIS_NUM	Temp. max.	Temp. min.	Temp. moy.	Pluie tot.	Neige tot.	Neige au sol	Vit. raf. max.	Dir. raf.
1													
2	2004-01-01	jeudi	1	2004	1	1	-8,5	-3,8	0	0,2	0	41	29
3	2004-01-02	vendredi	1	2004	1	-6,4	-8,6	-7,5	0	3,4	0	0	0
4	2004-01-03	samedi	1	2004	1	4,7	-7,5	-1,4	1,8	0,4	3	0	0
5	2004-01-04	dimanche	1	2004	1	3,6	-7,5	-2	0	0	2	35	30
6	2004-01-05	lundi	2	2004	1	-7,4	-11,5	-9,5	0	5,4	2	33	4
7	2004-01-06	mardi	2	2004	1	-11	-15	-13	0	0,2	7	35	28
8	2004-01-07	mercredi	2	2004	1	-11,3	-23,5	-17,4	0	0	7	54	28
9	2004-01-08	jeudi	2	2004	1	-20,1	-25,3	-22,7	0	0	7	0	0
10	2004-01-09	vendredi	2	2004	1	-20,3	-27,4	-23,9	0	0	7	0	0
11	2004-01-10	samedi	2	2004	1	-19,9	-26,8	-23,4	0	0	7	0	0
12	2004-01-11	dimanche	2	2004	1	-8,4	-20,9	-14,7	0	8	7	0	0
13	2004-01-12	lundi	3	2004	1	-9,3	-13,8	-11,6	0	1,6	15	0	0
14	2004-01-13	mardi	3	2004	1	-8	-27,5	-17,8	0	5	20	57	29
15	2004-01-14	mercredi	3	2004	1	-23,5	-30,1	-26,8	0	0	20	0	0
16	2004-01-15	jeudi	3	2004	1	-24,2	-30,7	-27,5	0	0	20	56	29
17	2004-01-16	vendredi	3	2004	1	-15,3	-26,7	-20,5	0	0	20	46	20

Figure 3-7 – Champs liés à la météo

3.2.4 Outils d'analyse : Excel, tableaux et graphiques croisés dynamiques

Les principaux outils utilisés pour cette étude font partie des fonctionnalités d'Excel et sont les tableaux croisés dynamiques (TCD) ainsi que les graphiques croisés dynamiques (GCD). En effet, ces outils sont tout à fait adaptés pour manipuler les données en permettant de créer des tableaux de synthèse comportant un sommaire des champs disponibles. Ces outils proposent de plus de multiples possibilités de tri et de calculs tels que des générations de moyennes, de sommes, d'écart types, de variances etc. Les graphiques croisés dynamiques sont créés à partir des tableaux dynamiques et présentent les mêmes fonctionnalités.

La Figure 3-8 illustre la présentation et le fonctionnement général de ces deux outils.

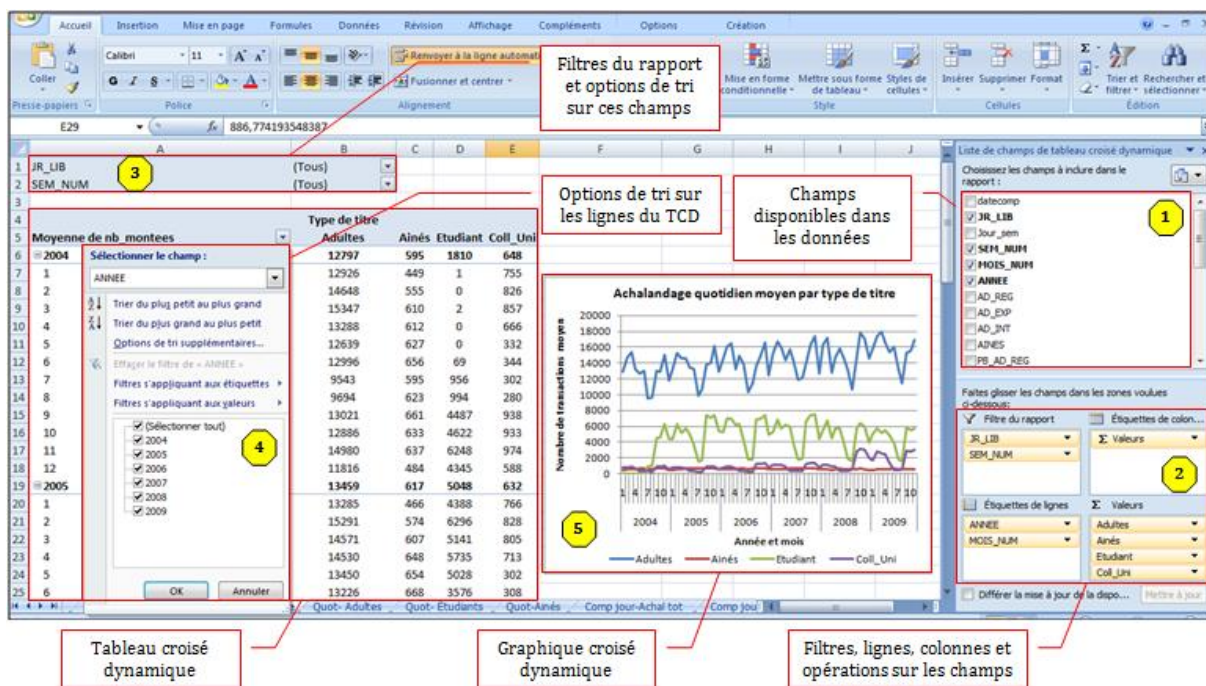


Figure 3-8 - Outils Excel : Tableaux et graphiques croisés dynamiques

Nous avons numéroté les différents objets de la Figure 3-8 afin d'expliquer succinctement les différentes étapes de la construction et de l'utilisation des TCD et GCD. Comme mentionné précédemment, lors de la préparation des données nous avons créé un tableau Excel regroupant les volumes d'achalandage par date de données (lignes) et par type d'utilisateurs (colonnes) ainsi que des champs (colonnes) additionnels comportant les données calendaires (libellés de jours, mois, année, vacances, jours fériés...) et les données météorologiques (températures, pluie, neige, vent ...). Ce tableau sert de source de données pour la construction des TCD utilisés lors de l'étude.

- **Étape 1 :** lors de la création d'un TCD, la première étape est le choix des données à analyser. Nous sélectionnons donc le tableau rassemblant l'ensemble des données. Les champs alors disponibles apparaissent dans l'encadré noté 1;
- **Étape 2 :** à partir des champs disponibles, nous pouvons alors construire notre TCD en fonction des axes d'étude voulus. L'encadré noté 2 présente quatre zones. Les entrées classiques à choisir sont les « étiquettes de lignes » (ex : données calendaires) et les « étiquettes de colonnes » (ex : données d'achalandage par type d'utilisateurs). La zone « Σ valeurs », il faut choisir les paramètres des champs de valeurs définissant la valeur à afficher ou le calcul voulu

concernant l'achalandage des différents types d'utilisateurs en choisissant les paramètres (ex : moyenne quotidienne). La zone « filtres du rapport » correspond aux champs apparaissant dans l'encadré noté 3;

- Étape 3 : les encadrés notés 3 et 4 illustrent les possibilités d'appliquer des filtres et des tris aux champs du TCD. Les choix de tri réalisés dans l'encadré 3 ne seront pas directement visibles dans le TCD mais modifieront les valeurs affichées sur l'achalandage (ex : on peut choisir de considérer que le « lundi » en filtrant sur le champ «JR_LIB » ce qui impliquerait que les moyennes d'achalandage affichées dans le TCD ne seraient calculées que sur les volumes d'achalandage des lundis). Les tris et filtres appliqués dans l'encadré 4 seront visibles grâce aux intitulés des lignes du TCD (ex : choix d'appliquer des tris ou des filtres sur les années de données ou sur les mois);
- Étape 4 : la dernière étape consiste à créer le GCD (encadré 5) correspondant au TCD construit lors des étapes 1 à 3. Le GCD ainsi créé représente les champs et les valeurs de champs du TCD. Dans le cas où on modifie les paramètres du TCD (champs, tri, filtre...), le GCD sera alors mis à jour pour ces modifications, d'où le caractère dynamique de ces outils.

3.3 Processus d'étude : de la normalité des déplacements à l'impact des conditions météorologiques

Le choix des deux objectifs de recherche n'est pas anodin car l'étude de l'impact des conditions météorologiques se fait dans la continuité directe de l'étude de la normalité des déplacements des utilisateurs du réseau de la STO. En effet, la normalité des déplacements constitue l'aspect « prévisible » des variations d'achalandage alors que l'impact de la météo constitue le côté plus « imprévisible ». De ce fait, la connaissance des variations normales de l'achalandage est indispensable pour étudier les variations liées aux conditions météorologiques.

3.3.1 Normalité des déplacements : choix des axes d'étude et indicateurs pertinents

Lors de l'étude de la normalité des déplacements, les axes d'étude sont tout d'abord temporels. Cette analyse préliminaire vise à détecter les variations normales de l'achalandage, ce qui est rendu possible grâce à la durée importante de la période d'étude. Ainsi, on recherche les variations de l'achalandage et les tendances en considérant différents découpages temporels. Les

échelles temporelles abordées sont les suivantes : journalière, en séparant jours de semaine et fin de semaine, hebdomadaire, mensuelle, saisonnière et annuelle. Les jours fériés et les vacances font également partie des découpages temporels étudiés.

À la suite des premières manipulations sur les données, on constate que l'achalandage présente des variations remarquables au global et en fonction des différents types de titre ou encore du mode de paiement. Ainsi, ces informations disponibles grâce aux cartes à puce constituent également des axes d'étude.

Des indicateurs, définis dans les sections 4.3.1 (page 102) et 4.3.2 (page 104), seront calculés dans le cadre de l'étude des vacances et des jours fériés sur l'achalandage afin de mesurer les écarts d'achalandage observés lors de ces périodes particulières du calendrier.

3.3.2 Conditions météorologiques : choix des axes d'étude et indicateurs pertinents

Dans un premier temps, on réalise des ajustements sur les données d'achalandage avant d'étudier l'impact des conditions météorologiques sur la fréquentation du réseau de la STO d'après les résultats de l'étude sur la normalité des déplacements. En effet, des tendances sont identifiées sur l'achalandage des différents types d'usager. On supprime ces tendances en ramenant la moyenne quotidienne d'achalandage des différentes années d'étude à la moyenne quotidienne d'achalandage d'une année de référence (voir section 5.2, page 127), en l'occurrence l'année scolaire 2008-2009.

Dans un second temps, il faut effectuer une étude préliminaire sur les données météorologiques seules afin de déterminer les variables susceptibles d'avoir un impact sur l'achalandage des transports. Il est nécessaire de connaître les « normales saisonnières » en fonction des différentes périodes de l'année. En effet, il est non seulement possible que le passage d'une période à une autre engendre des variations d'achalandage mais aussi à l'intérieur d'une période, des conditions hors des normales saisonnières pourraient également avoir un impact sur la fréquentation.

Concernant les axes d'étude, l'échelle temporelle retenue est journalière avec une séparation des différents jours de la semaine dans deux des trois méthodes présentées. Dans la continuité de l'étude de la normalité des déplacements, l'impact des conditions météorologiques sur

l'achalandage sera étudié en fonction des différents types d'utilisateur. Les variables météorologiques retenues sont les températures, la pluie et la neige.

Les indicateurs considérés pour quantifier l'impact des différentes variables météorologiques se basent de nouveaux sur les moyennes d'achalandage quotidiennes. Trois méthodes sont mises en œuvre et les indicateurs associés à chacune de ces méthodes sont présentés dans les sections 5.3, 5.4 et 5.5.

3.3.3 Construction des tableaux et des graphiques croisés dynamiques

L'analyse des données a été grandement facilitée par l'utilisation des TCD qui ont permis de calculer les moyennes quotidiennes d'achalandage lors des deux études en fonction des différents axes d'étude. Les graphiques croisés dynamiques sont créés à partir des TCD et permettent de visualiser les variations et les tendances de l'achalandage.

La Figure 3-9 donne un exemple de TCD construit dans le cadre de l'étude de la normalité des déplacements.

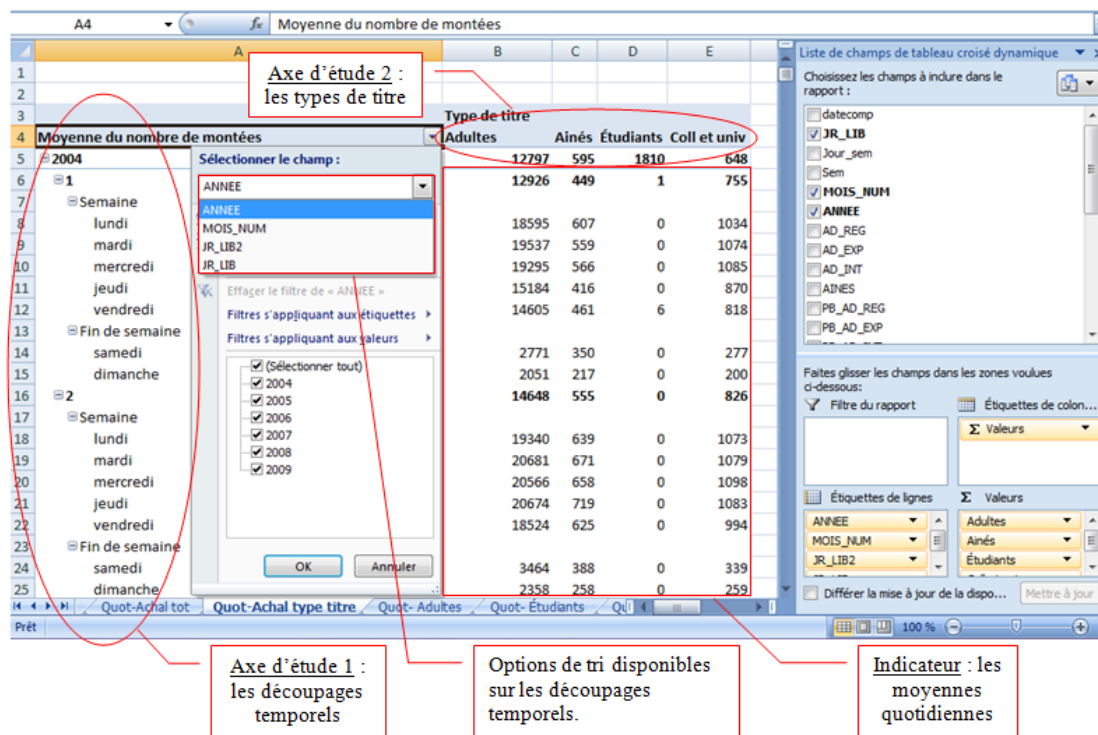


Figure 3-9 – Exemple de TCD créée pour l'étude de la normalité des déplacements

CHAPITRE 4 PREMIÈRE ÉTUDE : NORMALITÉ DES DÉPLACEMENTS

Cette première étude a comme objectif de déterminer la normalité des déplacements, c'est-à-dire d'identifier et de quantifier les variations d'achalandage résultant des comportements habituels des usagers de la STO. Cette partie consiste donc à réaliser une étude qu'on peut qualifier d'étude exploratoire dont les résultats serviront de référentiel dans la seconde étude axée sur l'impact des conditions météorologiques.

4.1 Étude quotidienne

Dans un premier temps, une étude quotidienne globale puis par type de titre de transport permet de mettre en évidence les tendances générales et les phénomènes cycliques éventuels. L'étude quotidienne consiste à examiner les volumes de transactions quotidiennes, soit le nombre d'embarquements, au jour le jour ou en moyenne. Cette première approche a pour but de se forger une idée préliminaire concernant la normalité des déplacements sur le réseau de la STO, de formuler des explications plausibles aux variations observées et de préparer la suite de l'étude.

4.1.1 Achalandage total

La première étape est de représenter l'achalandage brut, c'est-à-dire sans appliquer de filtre, et de réaliser une analyse sur l'ensemble de la période d'étude. La Figure 4-1 permet de visualiser l'achalandage quotidien total de 2004 à 2009 par date de données.

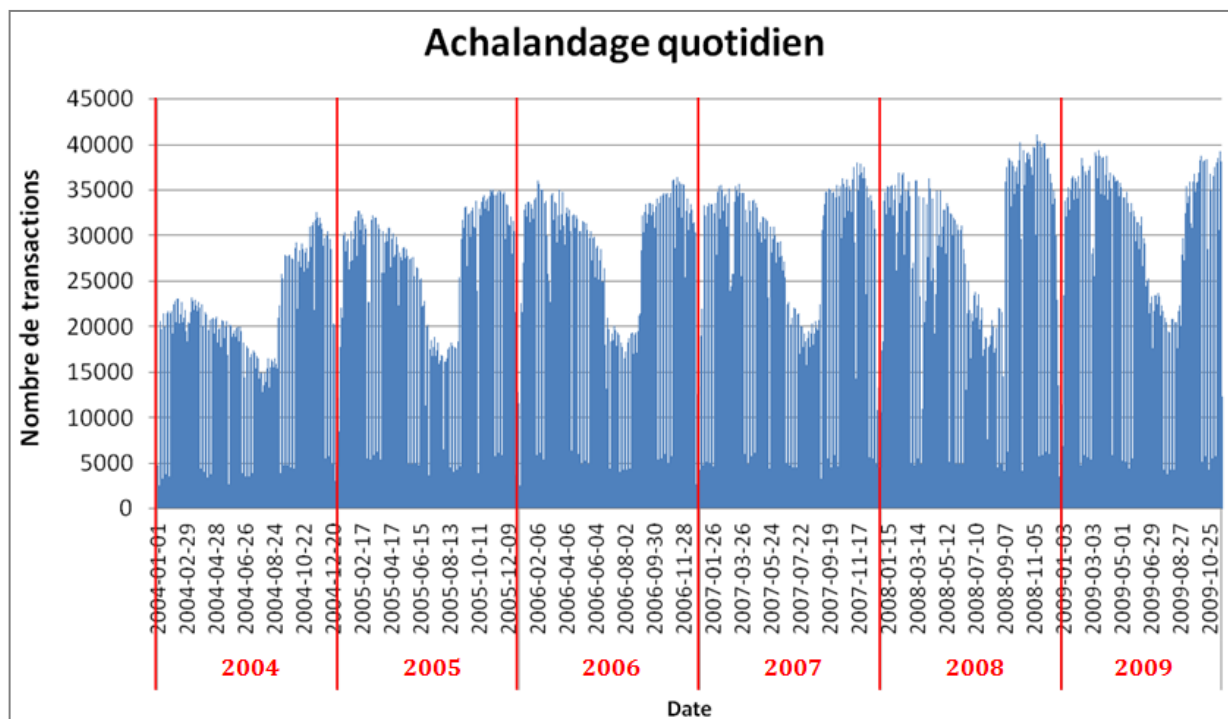


Figure 4-1 - Achalandage quotidien total par date de données

À partir de la Figure 4-1, il est déjà possible d’observer une tendance générale à la hausse de l’achalandage quotidien sur les six ans de données ainsi que des variations périodiques, selon une période d’un an. Les premières observations à faire sont que l’achalandage quotidien présente deux chutes particulièrement remarquables sur l’année, une lors de la période estivale et une autre autour des fêtes de fin d’année. De plus, les variations d’achalandage sont clairement cycliques, ce qui peut être mis en évidence grâce à la Figure 4-2, en superposant les profils d’achalandage des différentes années étudiées. Pour cela, l’achalandage quotidien est observé en moyenne sur chaque mois de l’année. Grâce à ces profils, il apparaît que la période de l’année la plus achalandée est la période de septembre à novembre et que l’achalandage a tendance à diminuer de mars à août.

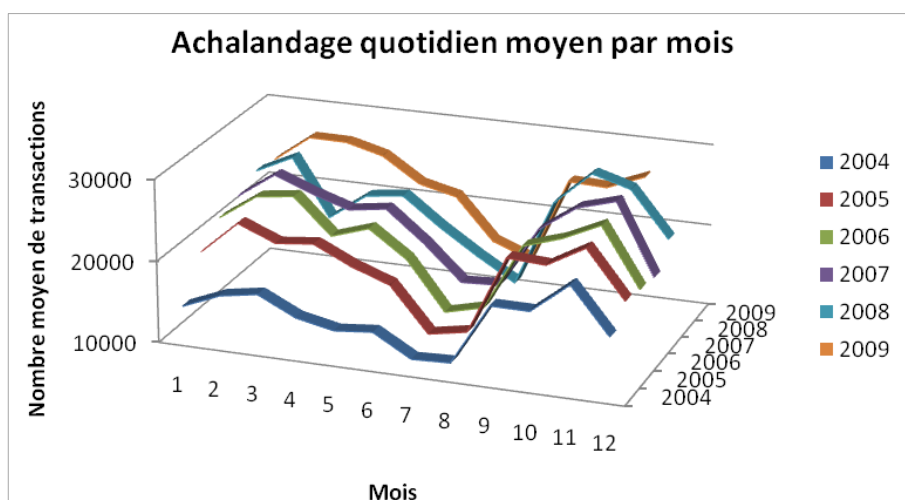


Figure 4-2 - Profil de l'achalandage total quotidien moyen par mois et par année

La Figure 4-3 représente l'achalandage quotidien moyen par mois sur l'ensemble de la période d'étude, dont les valeurs sont données dans le Tableau C - 1 à l'ANNEXE C (page 172). La courbe de tendance linéaire présente bien une augmentation de l'achalandage quotidien d'une centaine de transactions quotidiennes par mois.

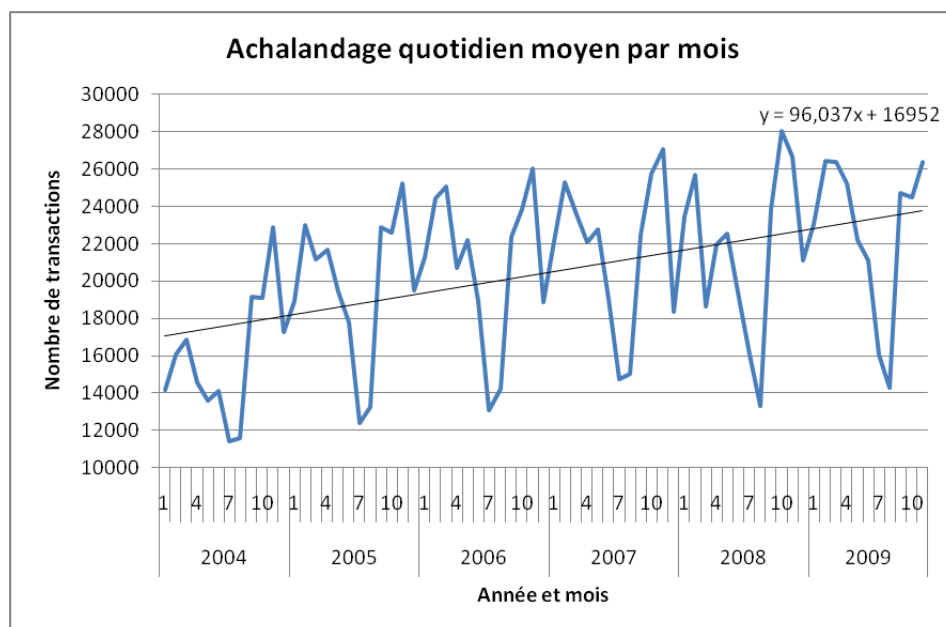


Figure 4-3 - Achalandage total quotidien moyen par mois et par année

La suite de l'étude pourra sans doute permettre d'expliquer certaines anomalies visibles sur l'achalandage quotidien moyen tel l'achalandage particulièrement bas de la période précédant l'été 2004 ou encore les variations très marquées au printemps et à l'été 2008.

D'après le Tableau C - 1 à l'ANNEXE C (page 172), la fréquentation quotidienne moyenne oscille autour de 20 000 transactions par jour mais présente d'importantes variations entre les différents mois de l'année. Sur l'ensemble de la période d'étude, les mois d'octobre et novembre sont les plus achalandés en moyenne, le mois d'octobre 2008 détient le record de fréquentation avec une moyenne dépassant 28 000 transactions quotidiennes. Cette période présente une montée en charge chaque année probablement du fait qu'une partie des usagers testent le réseau et peuvent décider de ne pas continuer d'utiliser les transports en commun pendant la période hivernale. Les mois de juillet et août sont les mois les moins achalandés de l'année avec des fréquentations quotidiennes moyennes principalement inférieures à 15 000 transactions journalières. Cette baisse d'achalandage estivale n'est pas étonnante car elle correspond à la période des départs en vacances.

Suite à ces premières observations d'après l'achalandage total, il est intéressant de se pencher sur l'achalandage par type d'usagers, information rendue disponible grâce au système de perception par carte à puce et à la tarification par forfait de la STO (voir section 3.2.1.2, page 54).

4.1.2 Achalandage par type de titre

4.1.2.1 Mise en évidence des différences d'achalandage

Les différentes de tarification de la STO ont été présentées dans la section 3.2.1.2 (page 54). Le type d'utilisateur est enregistré sur la carte à puce lors de la transaction à l'embarquement, ce qui nous permet de mettre en évidence la répartition de l'achalandage entre les types d'usagers adultes, étudiants et aînés ainsi que de représenter les différents profils d'achalandage.

La Figure 4-4 représente les pourcentages de la fréquentation quotidienne par type d'utilisateur sur l'ensemble des années étudiées et la Figure 4-5 illustre cette répartition par année. Les valeurs ayant permis de réaliser ces graphiques sont consignées dans le Tableau 4-1.

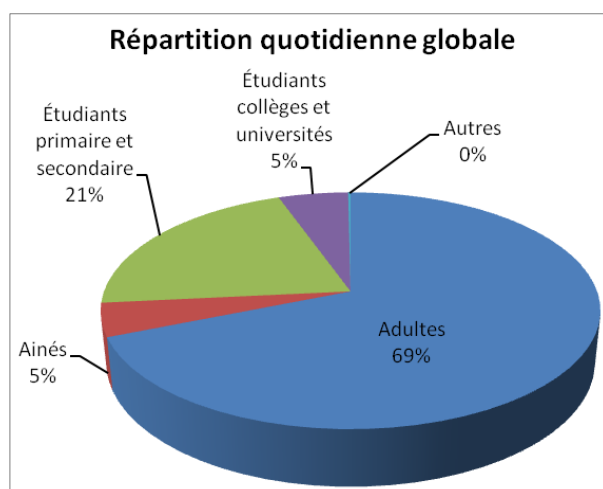


Figure 4-4 - Répartition globale de l'achalandage entre les différents types de titre

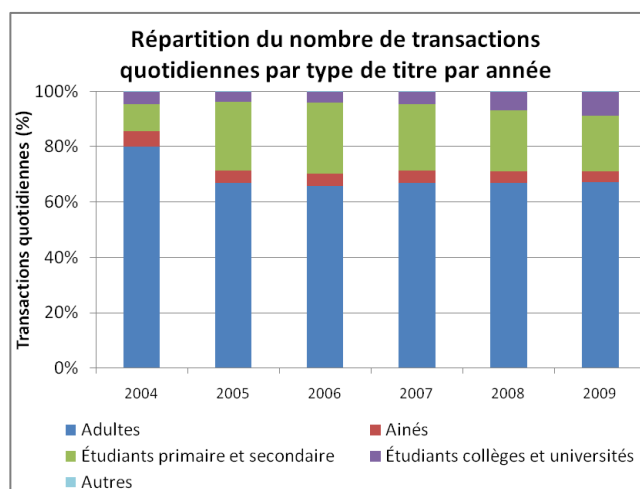


Figure 4-5 - Répartition de l'achalandage par type de titre par année

Tableau 4-1 - Répartition de l'achalandage par type de titre par année

Moyenne de fréquentation quotidienne (%)		Type de titre			
Année	Adultes	Ainés	Étudiants primaire et secondaire	Étudiants collèges et universités	Autres
2004	79,9%	5,6%	9,7%	4,6%	0,2%
2005	66,7%	4,7%	24,8%	3,6%	0,2%
2006	65,8%	4,5%	25,5%	4,1%	0,1%
2007	66,8%	4,5%	24,1%	4,5%	0,2%
2008	66,9%	4,0%	22,2%	6,6%	0,2%
2009	67,1%	4,0%	20,1%	8,6%	0,2%
Total	68,9%	4,6%	21,1%	5,3%	0,2%

Les usagers détenant un titre adulte effectuent la grande majorité des transactions, soit près de 70% en moyenne avec un pic à 79,9% en 2004. Ensuite viennent les titres étudiants du primaire et secondaire avec une moyenne supérieure à 20% de fréquentation et une fréquentation minimale de 10% en 2004. Les pourcentages d'achalandage quotidien des étudiants des collèges et universités et des aînés sont proches, avec une moyenne d'environ 5% de la fréquentation sur l'ensemble des années d'étude. On constate que de 2008 à 2009, la fréquentation des collégiens

et universitaires passe de 6,6% à 8,6% alors que celle des primaires et secondaires chute de 22,2% à 20,1%. Ces variations sont dues à une modification de tarification lors duquel la STO a diminué l'âge pour les titres étudiants des collèges et universités à 21 ans. Cette modification a engendré un transfert d'étudiants de la classe primaire et secondaire à la classe collège et université. Cette variation pourra être observée sur les courbes d'achalandage des étudiants. Enfin, la catégorie « Autres » représente une partie infime de l'achalandage. Elle ne sera pas considérée par la suite du fait de sa faible contribution à l'achalandage et qu'elle ne représente pas un type d'utilisateur précis.

La Figure 4-6 représente l'achalandage quotidien moyen par type de titre sur l'ensemble de la période d'étude.

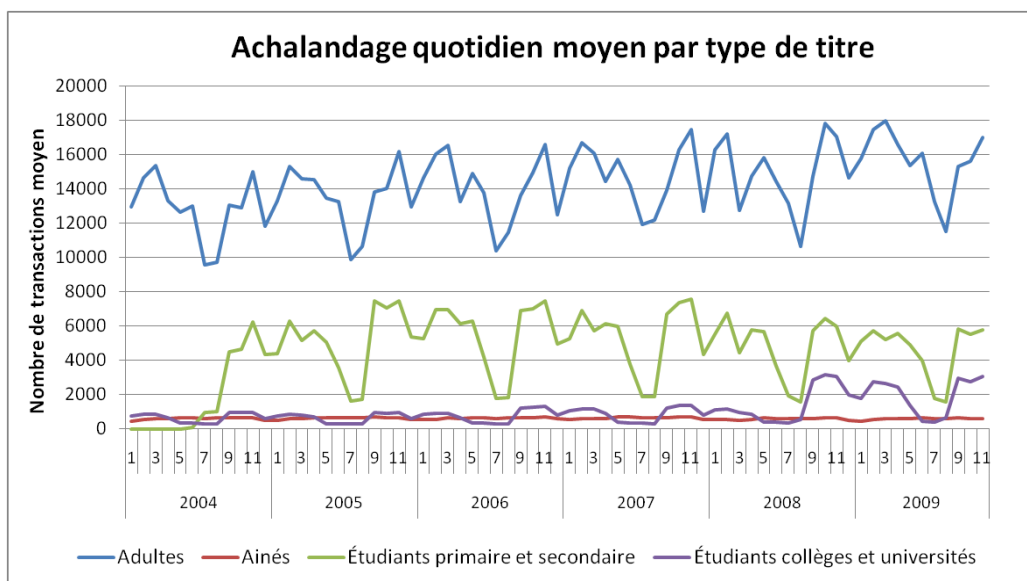


Figure 4-6 - Achalandage quotidien moyen par type de titre par mois et par année

La répartition inégale de l'achalandage entre les différents types d'utilisateurs apparaît clairement sur ce graphique conformément aux constatations précédentes. De plus, des tendances et phénomènes cycliques sont de nouveau observables pour les différents types d'utilisateur. À la suite, les catégories d'utilisateurs seront étudiées séparément afin d'identifier les similitudes et les différences d'achalandage afin d'affiner l'étude de la normalité des déplacements.

4.1.2.2 Adultes

La Figure 4-7 présente l'achalandage quotidien des titres adultes par date de données sur l'ensemble de la période d'étude. Les volumes d'achalandage varient de manière cyclique sur l'année et semblent présenter une tendance à la hausse.

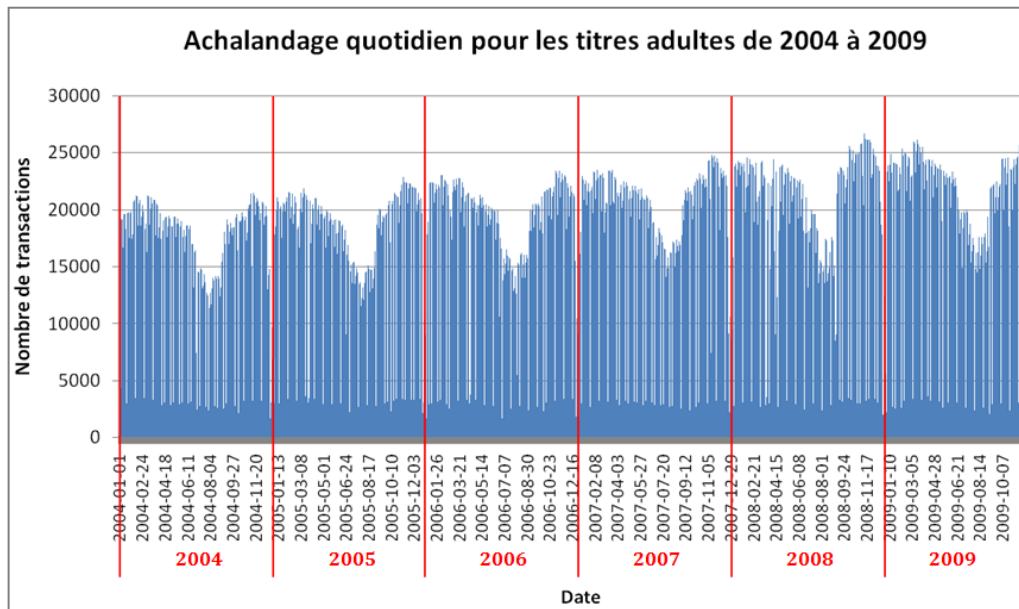


Figure 4-7 - Achalandage quotidien des titres adultes par date de données

La baisse de fréquentation la plus importante a lieu lors de la période estivale, principalement en juillet et août, bien que les volumes quotidiens commencent à décroître dès le mois de juin. La diminution d'achalandage des mois d'été correspond à une baisse d'environ un quart par rapport à la fréquentation du reste de l'année. Il est raisonnable d'affirmer que la plupart des usagers détenant un titre adulte sont des travailleurs. Une grande partie des déplacements de ce type d'usager a donc pour but de se rendre sur le lieu de travail. Il sera intéressant d'examiner les déplacements des adultes en fonction des jours de la semaine afin de déterminer les variations entre jours ouvrés et non ouvrés (section 4.2, page 82). L'achalandage au quotidien permet d'observer que les baisses d'achalandage pour les adultes correspondent principalement aux périodes de vacances scolaires, les adultes faisant souvent le choix de faire correspondre leurs congés avec ceux de leurs enfants. Les variations liées aux périodes de vacances seront étudiées plus en détail dans la section 4.3 (page 95).

La STO propose différents types de titres adultes (voir section 3.2.1.2, page 54). Comme l'illustre la Figure 4-8, les transactions réalisées par les adultes réguliers représentent plus de 70% des embarquements sur l'ensemble de la période d'étude. L'achalandage des deux lignes du service interzone constitue presque un quart des transactions des titres adultes alors que les transactions pour les quatre lignes du service express ne représentent que 5% des déplacements des adultes.

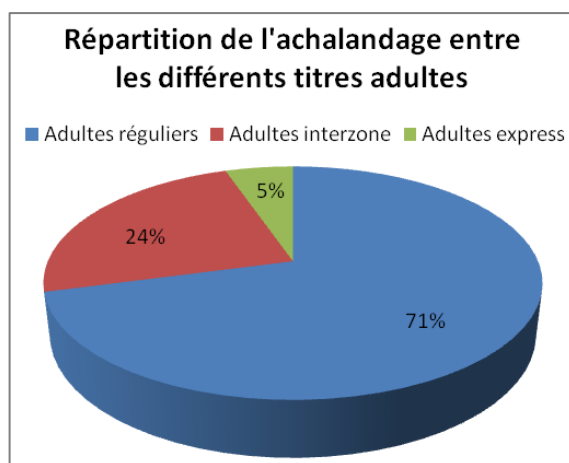


Figure 4-8 - Fréquentation du réseau par type de titres adultes

L'achalandage quotidien moyen des différents types de titres adultes est représenté à la Figure 4-9 et l'achalandage quotidien moyen des titres adultes express est présenté à la Figure 4-10 du fait de la différence d'échelle.

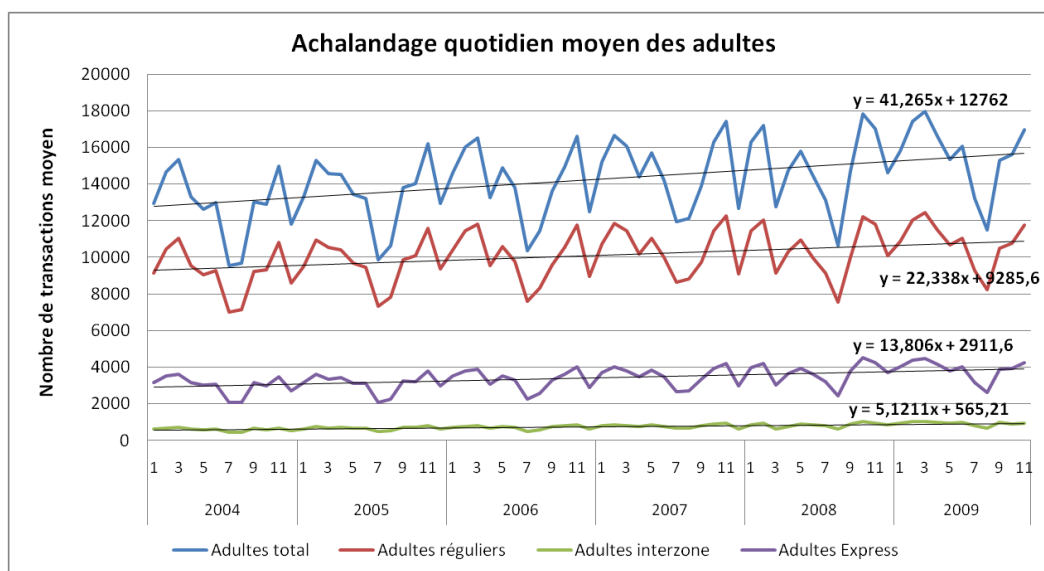


Figure 4-9 - Achalandage quotidien moyen pour les titres adultes par mois et par année

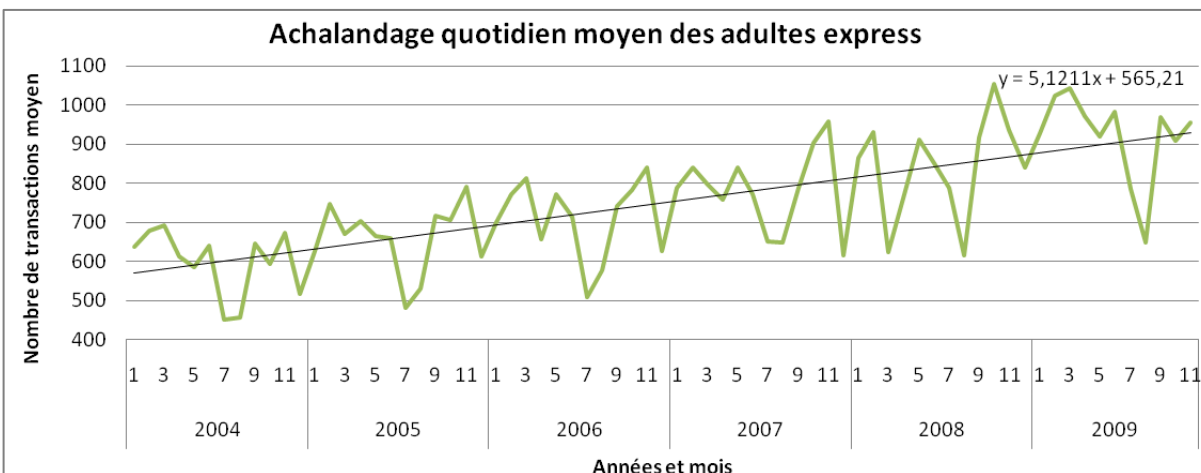


Figure 4-10 - Achalandage quotidien moyen pour les adultes express par mois et par année

Excepté les différences de volumes entre les trois types de titres adultes, les profils d'achalandage sont très similaires. Les courbes de tendance montrent une augmentation générale de l'achalandage sur l'ensemble de la période d'étude pour les trois types de titres adultes, ce qui représente une augmentation moyenne de 41 usagers par mois de janvier 2004 à novembre 2009 pour l'achalandage quotidien total des titres adultes.

Le Tableau C - 2 à l'ANNEXE C (page 172) regroupe les moyennes quotidiennes d'achalandage par mois, moyennes calculées sur les six années de données, pour les différents types de titres adultes et au total. Les mois les plus achalandés, pour les trois types de titres adultes, sont les mois de février et novembre. Le mois de février étant un des mois les plus défavorables en termes de conditions météorologiques, il est possible que certains automobilistes choisissent de prendre un forfait mensuel de transport en commun durant cette période pour éviter d'avoir à circuler sur des routes peu sécuritaires, notamment à cause du verglas et de la neige. La seconde étude (voir Chapitre 5, page 116) menée dans ce mémoire tentera de fournir des réponses plus précises à ce type de variations. Les mois les moins achalandés sont juillet et août en raison des vacances d'été, avec une fréquentation qui diminue de plus de moitié en comparaison avec les mois les plus achalandés de l'année.

4.1.2.3 Étudiants

La Figure 4-11 présente l'achalandage des deux types de titre étudiants par date de données. Bien que ces deux types de titre concernent des usagers aux études, on constate des différences dans les profils d'achalandage qui sont intéressantes à analyser.

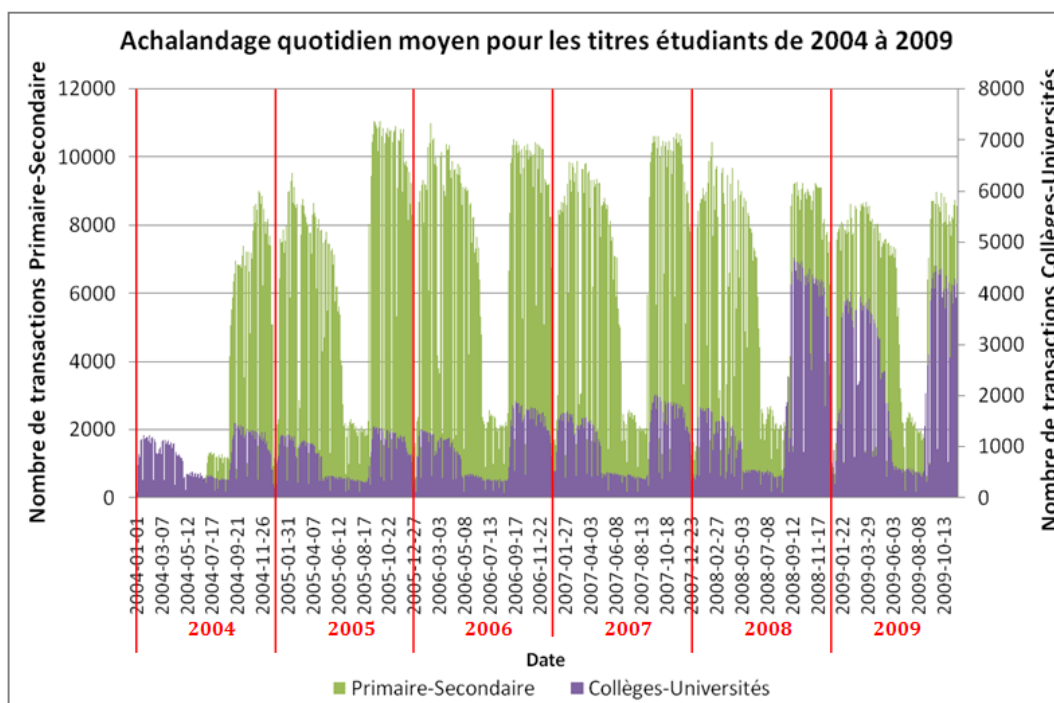
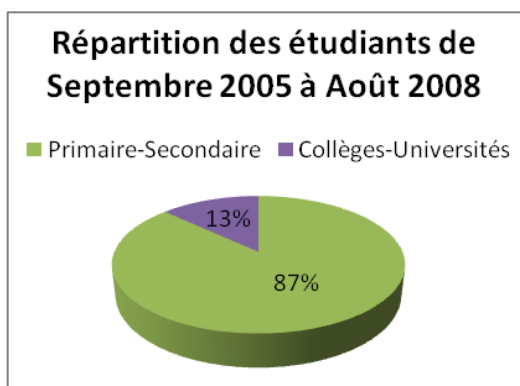


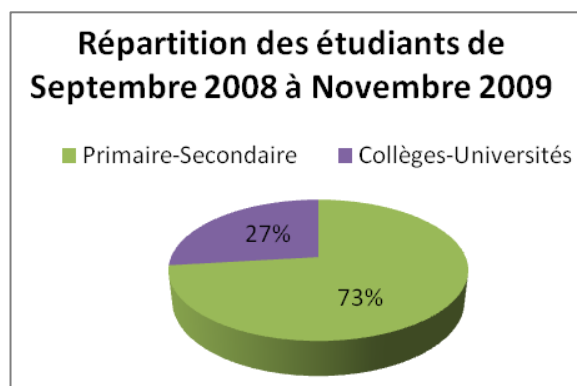
Figure 4-11 - Achalandage quotidien des titres étudiants par date de données

Dans un premier temps, certaines variations ne concernent pas des évolutions « naturelles » de l'achalandage mais sont liées à des adaptations effectuées par la STO. En effet, il apparaît que le titre étudiant pour les niveaux primaire et secondaire n'a été mis en place qu'à partir du 1^{er} juin 2004. L'année scolaire 2004-2005 présente une montée en charge due à la nouveauté de ce titre, la fréquentation semble stabilisée pour les trois années scolaires suivantes. Une nouvelle modification survient en septembre 2008. À partir de la deuxième semaine de septembre 2008, la STO a appliqué une nouvelle définition des âges des usagers des titres étudiants. En effet, l'âge d'éligibilité pour les titres étudiants collèges et universités a été modifié, ce qui a impliqué un transfert d'étudiants entre les deux types de titres. Les volumes étudiants collèges et universités a donc augmenté tandis que ceux de la classe primaire et secondaire ont diminué. L'effet de cette

modification sur les volumes d'achalandage entre les deux types de titre est mis en évidence par la Figure 4-12 et la Figure 4-13.



**Figure 4-12 - Répartition des étudiants avant
modification**



**Figure 4-13 - Répartition des étudiants après
modification**

Dans un second temps, certaines observations sont à faire sur les variations naturelles de l'achalandage. Comme les salariés avec les horaires de travail, les étudiants sont astreints à un emploi du temps lié à leurs études avec des horaires plus ou moins réguliers. Comme pour les titres adultes, il sera très intéressant de se pencher sur les variations d'achalandage selon les différents jours de semaine. Cependant, les variations d'achalandage pour les titres étudiants, notamment lors des périodes de vacances, sont plus marquées que pour les titres adultes. En effet, on avait pu constater pour les adultes une baisse estivale d'environ un quart de la fréquentation par rapport aux mois les plus achalandés. En ce qui concerne les étudiants, l'achalandage estival baisse d'environ trois quarts par rapport aux mois les plus achalandés. En effet, contrairement aux adultes qui ne prennent pas leurs congés tous en même temps, les vacances scolaires impliquent une fermeture des établissements scolaires, hormis les universités qui restent ouvertes mais proposent moins de cours pendant la session d'été. La Figure 4-14 permet de bien visualiser les variations d'achalandage ainsi que les tendances sur la période d'étude.

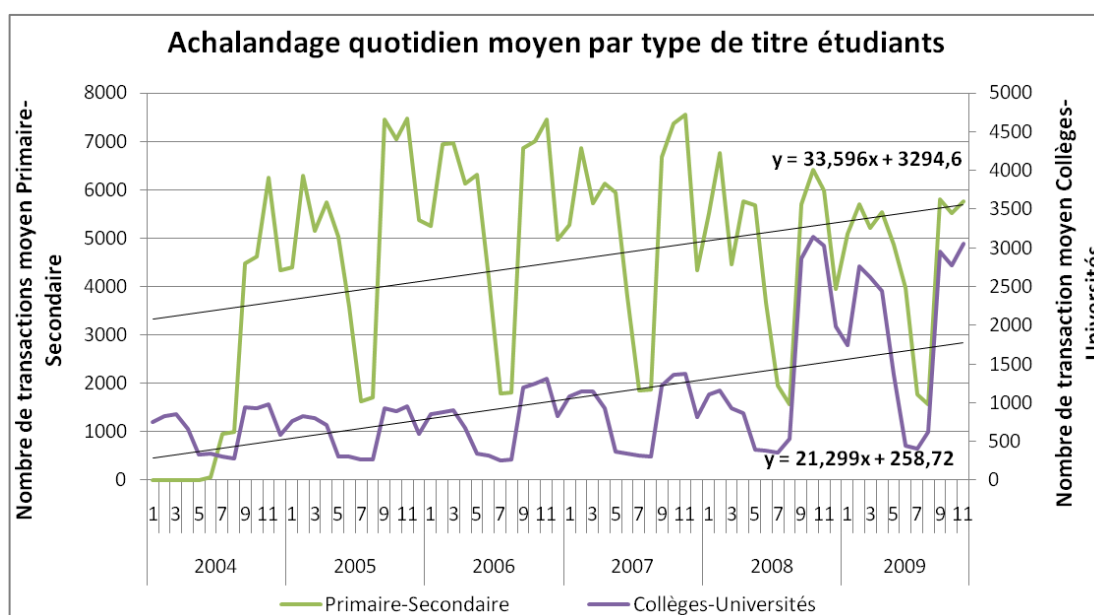


Figure 4-14 - Achalandage quotidien moyen pour les titres étudiants par mois et par année

Il est possible de distinguer des différences au niveau des périodes de vacances entre les deux types de titres étudiants. Pour la période de Noël, pour les étudiants des collèges et universités la baisse d'achalandage se répercute principalement sur le mois de décembre alors que pour les étudiants du primaire et secondaire cette baisse se ressent également en janvier. De plus, les périodes de relâche sont moins visibles pour les étudiants des cycles supérieurs. Enfin, la baisse d'achalandage liée à la période estivale est plus longue pour les étudiants des collèges et universités du fait que la session d'été commence dès la fin avril-début mai. L'effet des vacances sera étudié plus finement dans la suite de l'étude (voir section 4.3.2, page 104). Bien qu'elles soient quelque peu faussées par les modifications effectuées par la STO, la tendance de l'achalandage quotidien est à la hausse pour les deux types de titres étudiants.

Le Tableau C - 3 à l'ANNEXE C (page 173) rassemble les moyennes d'achalandage quotidiennes par mois et année pour les deux types de titres étudiants. Ces moyennes permettent de constater que les mois les moins achalandés pour les étudiants du primaire et secondaire sont juillet et août avec des moyennes comprises entre 1 500 et 1 600 usagers par jour sur l'ensemble de la période d'étude. Pour les étudiants des collèges et universités, les mois les moins achalandés sont juin, juillet et août, avec des moyennes d'achalandage comprises entre 300 et

400 usagers par jour sur l'ensemble de la période d'étude. Enfin, pour les deux types de titres étudiants, les mois les plus achalandés sont septembre, octobre et novembre.

4.1.2.4 Aînés

La Figure 4-15 représente l'achalandage quotidien pour les titres aînés par date de données. On constate immédiatement que l'achalandage pour ce type d'utilisateurs est radicalement différent des types d'utilisateurs étudiés précédemment.

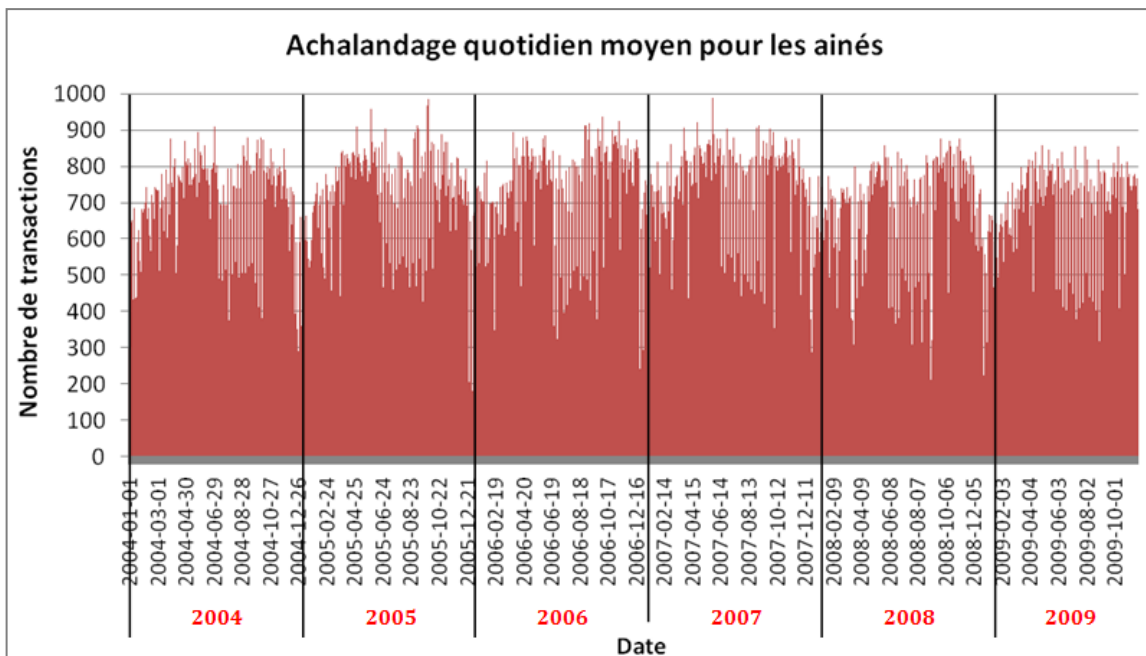


Figure 4-15 - Achalandage quotidien des aînés par date de données

Contrairement aux adultes et aux étudiants, la fréquentation quotidienne des aînés ne présente pas de tendance évidente ou de variations cycliques très prononcées. Comme cela a été fait pour les adultes, il est possible de formuler l'hypothèse que la plupart des aînés sont des personnes à la retraite donc moins assignées à un horaire régulier. Ainsi, l'essentiel des déplacements de ce type d'utilisateurs serait motivé par des activités sociales, domestiques ou de loisir. Il apparaît que l'achalandage diminue légèrement lors de la période hivernale, ce qui est peut-être lié aux conditions météorologiques moins favorables. Il ne serait pas étonnant que les aînés soient particulièrement affectés par les conditions météorologiques du fait qu'ils ont en général plus de difficultés à se déplacer. De plus, les aînés étant moins astreints à des contraintes régulières,

leurs déplacements sont sans doute plus faciles à annuler ou à reporter. En ce sens, il sera particulièrement intéressant d'étudier les volumes de déplacements des aînés par rapport aux conditions météorologiques (voir Chapitre 5, page 114).

La Figure 4-16 permet de mieux visualiser les variations de la fréquentation quotidienne des aînés.

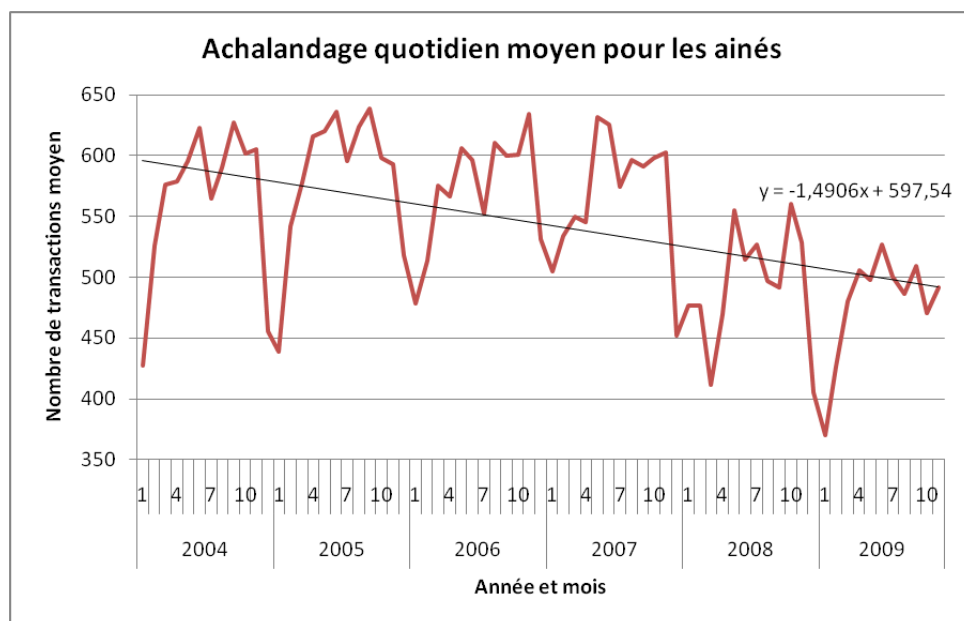


Figure 4-16 Achalandage quotidien moyen des aînés par mois et par année

D'après les moyennes d'achalandage quotidiennes pour les aînés, on peut confirmer une forte diminution lors de la période hivernale, particulièrement en décembre, janvier et février, et on peut également observer une baisse plus minime l'été, principalement en juillet (voir Tableau C - 4 à ANNEXE C, page 174). Une nouvelle singularité de l'achalandage pour ce type de titre est que la tendance sur l'ensemble de la période d'étude est quasiment nulle. La tendance décroissante est due à une diminution d'achalandage lors des deux dernières années de données comme on peut le constater grâce à la Figure 4-17 et à la Figure 4-18, baisse dont la raison est indéterminée.

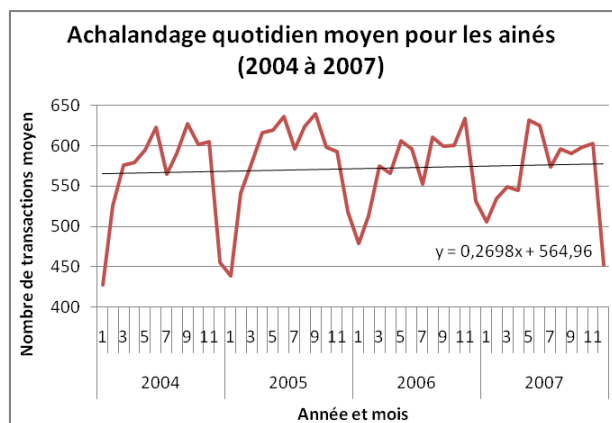


Figure 4-17 - Achalandage quotidien des aînés de 2004 à 2007

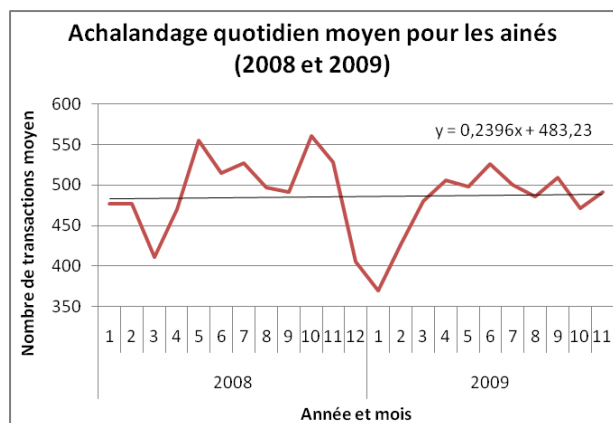


Figure 4-18 - Achalandage quotidien des aînés de 2008 à 2009

4.2 Comparaison des jours de la semaine

Dans un second temps, il est possible d'observer les variations d'achalandage à l'échelle des jours de la semaine. En effet, il est raisonnable de penser que la fréquentation varie entre les jours de semaine et la fin de semaine. De plus, il serait intéressant d'étudier ces variations en fonction des types d'utilisateurs qui présentent des habitudes de déplacements différentes selon leurs activités, comme cela a été remarqué précédemment.

4.2.1 Achalandage total

Intuitivement, on peut se douter que la fréquentation ne sera pas la même entre les jours de semaine, qui sont principalement des jours ouvrés, et les jours de fin de semaine. En effet, les activités pratiquées entre ces deux groupes de jours ne sont en général pas les mêmes, notamment en ce qui concerne les activités professionnelles ou liées aux études. De plus, le week-end est plus dédié aux loisirs et aux activités en famille, ce qui peut avoir une répercussion sur les volumes de déplacements.

La Figure 4-19 représente les moyennes quotidiennes d'achalandage pour les jours de semaine, les samedis et les dimanches, en fonction de l'année d'étude afin de ne pas masquer la tendance générale à la hausse de l'achalandage quotidien total.

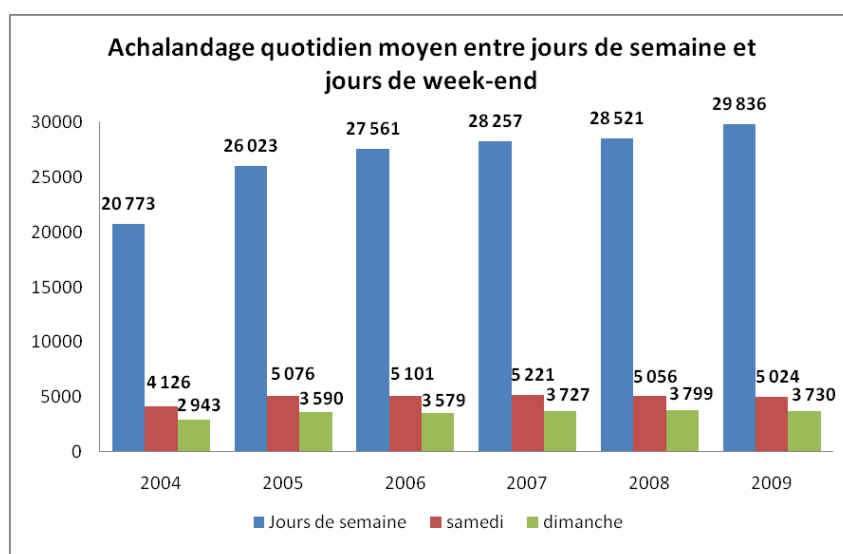


Figure 4-19 - Répartition de l'achalandage quotidien moyen entre la semaine et les jours de week-end

Ainsi, on peut observer que la moyenne quotidienne d'achalandage pour les jours de semaine est supérieure à 20 000 transactions par jour, atteignant presque 30 000 transactions par jour en moyenne pour 2009, alors que les moyennes quotidiennes d'achalandage du samedi dépassent à peine 5 000 transactions quotidiennes en moyenne et restent inférieures à 4 000 en ce qui concerne le dimanche.

La Figure 4-20 illustre la répartition des déplacements entre la semaine et le week-end en fonction du type d'utilisateur concerné sur l'ensemble de la période d'étude.

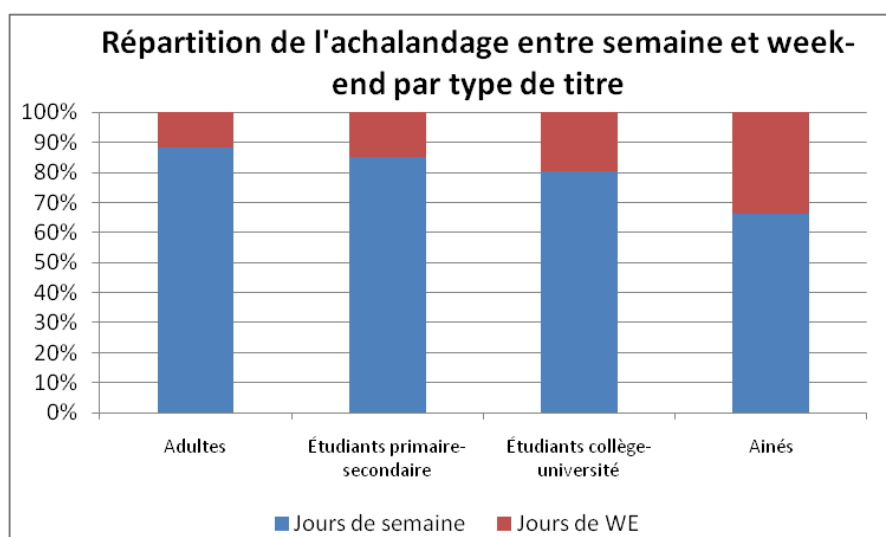


Figure 4-20 - Répartition de l'achalandage entre semaine et week-end pour les différents types de titre

On constate grâce à cette répartition par titre que les adultes effectuent presque 90% de leurs déplacements durant la semaine du fait de leurs obligations professionnelles et pour les deux types de titres étudiants plus de 80% des déplacements sont réalisés durant la semaine. De nouveau, les aînés se distinguent des adultes et des étudiants en réalisant plus de 30% de leurs déplacements le week-end.

Il est intéressant d'examiner également les variations entre les jours de semaine. L'achalandage moyen quotidien par jour de semaine et par année d'étude est donné à la Figure 4-21 et permet de se faire idée des variations auxquelles on peut s'attendre sur la semaine.

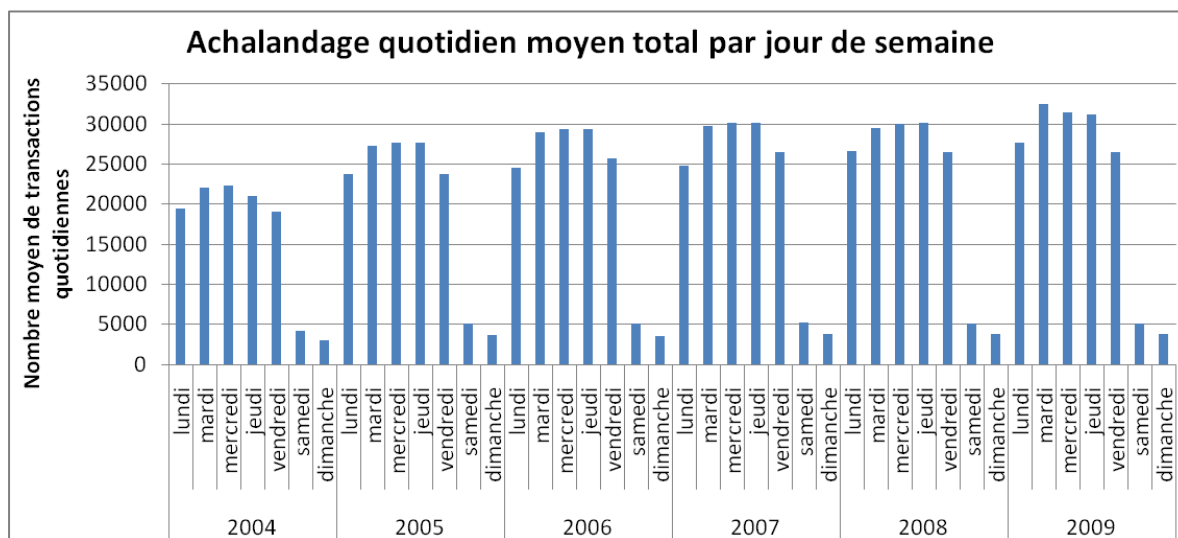


Figure 4-21- Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année

En considérant la moyenne quotidienne de l'achalandage total des différents jours de la semaine sur l'année, on « lisse » les variations liées aux phénomènes saisonniers ou ponctuels tels que les vacances, jours fériés ou événements météorologiques, ce qui permet de visualiser la tendance générale d'achalandage. D'après la Figure 4-21, on peut affirmer que l'achalandage par jour de semaine présente un profil particulier. En effet, concernant les jours de semaine, on constate que l'achalandage du lundi et celui du vendredi sont comparables en termes de volume. De plus, les volumes d'achalandage des mardis, mercredis et jeudis semblent comparables tout en étant plus importants que les volumes d'achalandage du lundi et du vendredi. Enfin, comme on avait pu le constater précédemment les volumes d'achalandage des samedis et dimanches sont à considérer à part des jours de semaine car ils sont beaucoup plus faibles.

Le Tableau C - 5 à l'ANNEXE C (page 174) présente les moyennes d'achalandage ayant permis de tracer le graphique de la Figure 4-21 et permet de se rendre compte des disparités de fréquentation en fonction des jours de semaine.

Il est possible de chiffrer les différences d'achalandage en moyenne entre les différents groupes de jours identifiés grâce à la Figure 4-21. Ces résultats sont rassemblés dans le Tableau 4-2.

Tableau 4-2 - Comparaison entre les jours de la semaine par année

Moyenne et comparaisons entre les volumes d'achalandage moyens	Année					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1- Moyenne du lundi et vendredi	19 234	23 755	25 130	25 615	26 523	27 059
2- Moyenne du mardi, mercredi et jeudi	21 802	27 534	29 182	30 036	29 835	31 694
3- Moyenne du lundi au vendredi	20 773	26 023	27 561	28 257	28 521	29 836
4- Moyenne du samedi	4 126	5 076	5 101	5 221	5 056	5 024
5- Moyenne du dimanche	2 943	3 590	3 579	3 727	3 799	3 730
Diminution de 2 à 1	11,8%	13,7%	13,9%	14,7%	11,1%	14,6%
Diminution de 3 à 4	80,1%	80,5%	81,5%	81,5%	82,3%	83,2%
Diminution de 3 à 5	85,8%	86,2%	87,0%	86,8%	86,7%	87,5%
Diminution de 4 à 5	28,7%	29,3%	29,8%	28,6%	24,9%	25,8%

La régularité des variations à l'échelle des jours de la semaine de 2004 à 2009 est frappante. En effet, sur l'ensemble des années étudiées, la baisse d'achalandage moyen quotidien entre le groupe du mardi, mercredi et jeudi et le groupe formé par le lundi et le vendredi est comprise entre 11,1% et 14,6%, la diminution entre la moyenne d'achalandage sur les jours de semaine et celle du samedi est comprise entre 80,1% et 83,2% et enfin l'achalandage moyen quotidien chute de 24,9% à 29,8% du samedi au dimanche. Le profil d'achalandage sur les jours de la semaine présente ainsi une normalité de déplacement qu'il est intéressant d'étudier par type d'utilisateur.

4.2.2 Achalandage par type de titre

4.2.2.1 Adultes

En ce qui concerne les adultes, la fréquentation varie entre la semaine et la fin de semaine selon les différents types de titre, ce que l'on peut constater à la Figure 4-22. Les chiffres sur le graphique indiquent les moyennes quotidiennes sur l'ensemble de la période d'étude.

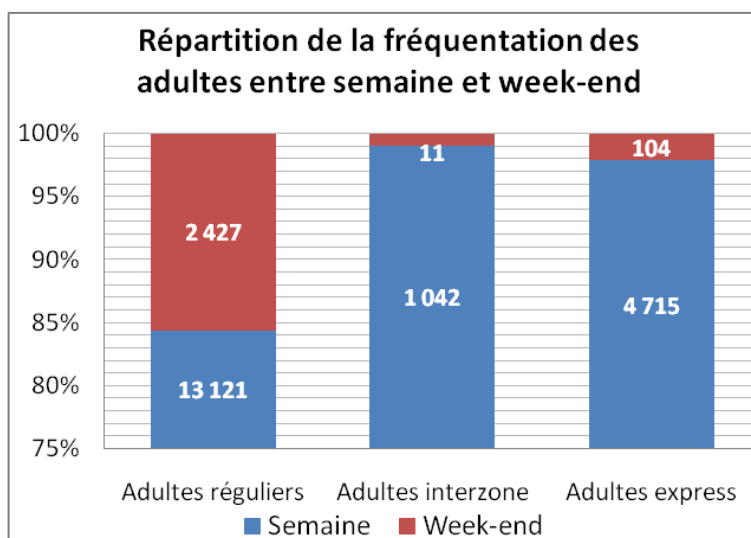


Figure 4-22 - Répartition de l'achalandage quotidien moyen pour les différents titres adultes

Seuls les adultes réguliers continuent à utiliser régulièrement leur carte à puce pendant la fin de semaine, réalisant 15% des transactions hebdomadaires au cours du week-end. En ce qui concerne les adultes interzone et express, la quasi-totalité des transactions sont enregistrées pendant les jours de semaine car ces titres à tarification plus élevée donne accès au service du lundi au vendredi pendant les heures de pointe et sur des lignes inaccessibles aux usagers payant selon pour le service régulier. Les forfaits interzone et express, dont les usagers sont beaucoup moins nombreux que les adultes réguliers, sont des titres adaptés pour les déplacements de travail, consistant principalement à réaliser pour les trajets entre le domicile et le lieu de travail.

La Figure 4-23, la Figure 4-24 et la Figure 4-25 permettent de visualiser les différences de fréquentation au cours de la semaine des différents usagers adultes par année d'étude. Les données ayant permis de construire ces graphiques sont données dans le Tableau C - 6 à l'ANNEXE C (page 175).

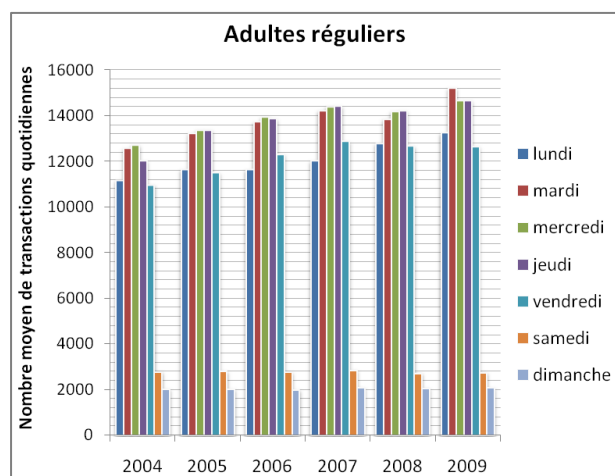


Figure 4-23 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année pour les adultes réguliers

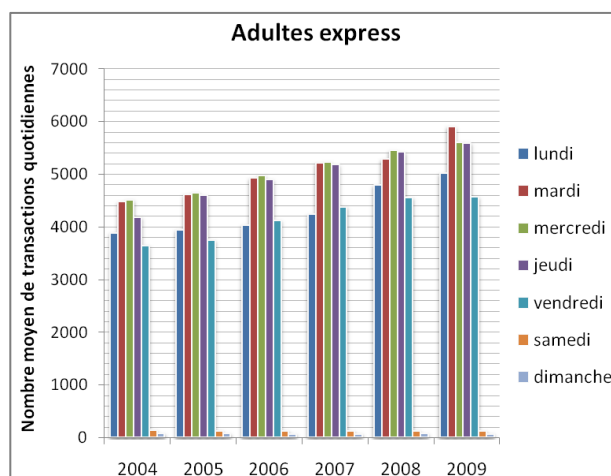


Figure 4-24 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année pour les adultes express

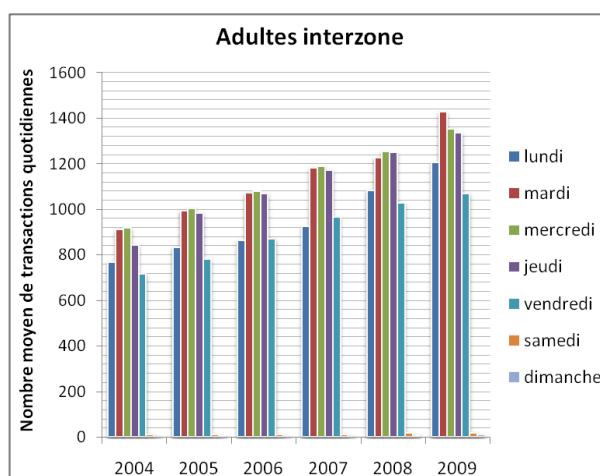


Figure 4-25 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année pour les adultes interzone

On constate que les variations durant la semaine ont la même forme pour les trois types de titres adultes. En effet, comme cela avait été observé pour l'achalandage total, les volumes des lundis et vendredis sont comparables entre eux, de même que les volumes des mardis, des mercredis et des jeudis.

Le Tableau 4-3 permet de comparer les volumes moyens achalandages entre les différents groupes de jours.

Tableau 4-3 - Comparaison entre les jours de la semaine par année par type de titre adulte

Moyenne et comparaisons entre les volumes d'achalandage moyens	Année					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ADULTES RÉGULIERS						
1- Moyenne du lundi et vendredi	11 079	11 580	11 975	12 445	12 733	12 948
2- Moyenne du mardi, mercredi et jeudi	12 436	13 328	13 842	14 352	14 083	14 844
3- Moyenne du lundi au vendredi	11 893	12 629	13 095	13 585	13 547	14 084
4- Moyenne du samedi	2 797	2 827	2 779	2 866	2 738	2 767
5- Moyenne du dimanche	2 037	2 032	2 009	2 097	2 080	2 094
Diminution de 2 à 1	10,9%	13,1%	13,5%	13,3%	9,6%	12,8%
Diminution de 3 à 4	76,5%	77,6%	78,8%	78,9%	79,8%	80,4%
Diminution de 3 à 5	82,9%	83,9%	84,7%	84,6%	84,6%	85,1%
ADULTES INTERZONES						
1- Moyenne du lundi et vendredi	3 771	3 851	4 086	4 313	4 682	4 796
2- Moyenne du mardi, mercredi et jeudi	4 395	4 626	4 936	5 215	5 388	5 707
3- Moyenne du lundi au vendredi	4 145	4 316	4 596	4 852	5 108	5 342
4- Moyenne du samedi	145	135	129	128	131	127
5- Moyenne du dimanche	79	78	70	74	77	73
Diminution de 2 à 1	14,2%	16,7%	17,2%	17,3%	13,1%	16,0%
Diminution de 3 à 4	96,5%	96,9%	97,2%	97,4%	97,4%	97,6%
Diminution de 3 à 5	98,1%	98,2%	98,5%	98,5%	98,5%	98,6%
ADULTES EXPRESS						
1- Moyenne du lundi et vendredi	744	808	868	946	1 057	1 137
2- Moyenne du mardi, mercredi et jeudi	891	994	1 074	1 181	1 244	1 372
3- Moyenne du lundi au vendredi	832	920	991	1 086	1 169	1 278
4- Moyenne du samedi	13	12	11	11	20	19
5- Moyenne du dimanche	4	6	4	4	11	11
Diminution de 2 à 1	16,6%	18,7%	19,2%	19,9%	15,0%	17,1%
Diminution de 3 à 4	98,4%	98,6%	98,9%	99,0%	98,3%	98,5%
Diminution de 3 à 5	99,5%	99,3%	99,6%	99,6%	99,1%	99,1%

Pour tous les types de titres adultes, les volumes moyens d'achalandage entre le groupe du mardi, mercredi et jeudi et le groupe du lundi et vendredi subissent une baisse comprise entre 10 et 20%. Pour les adultes réguliers, la chute de l'achalandage entre la semaine et le samedi est d'environ 80% et celle entre la semaine et le dimanche est comprise entre 80 et 85%. Enfin pour les adultes interzone et express, la diminution d'achalandage entre la moyenne des jours de semaine et les jours de fin de semaine est supérieure à 95%.

Enfin, on constate grâce à la Figure 4-26 représentant l'achalandage sur l'année pour l'ensemble des titres adultes, les variations entre les jours de semaine suivent globalement le même profil sur la semaine pour tous les mois de l'année.

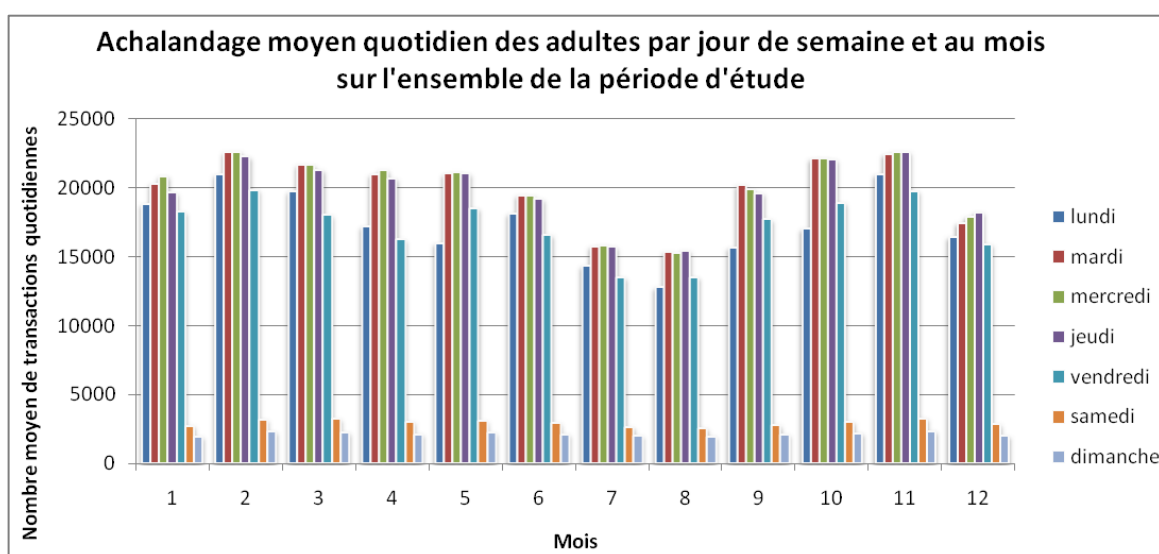


Figure 4-26 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par mois pour les adultes

On peut cependant remarquer qu'il y a plus de déséquilibre entre l'achalandage du lundi et du vendredi pour les différents mois, sans doute à cause de l'influence des jours fériés et des vacances qui se répercute dans les moyennes d'achalandage. En effet, les moyennes de l'achalandage des lundis et vendredis se font sur un nombre de jours moins important, d'autant plus que de nombreux jours fériés ou jours impactés par des jours fériés en termes d'achalandage sont des lundis ou des vendredis (voir section 4.3, page 95). Enfin, il apparaît que l'achalandage des jours de fin de semaine est stable sur tous les mois de l'année et n'est pas impacté par les variations cycliques observées sur l'année.

4.2.2.2 Étudiants

La Figure 4-27 représente la répartition de la fréquentation des deux types de titres étudiants entre la semaine et le week-end. Les chiffres sur le graphique indiquent les moyennes quotidiennes sur l'ensemble de la période d'étude.

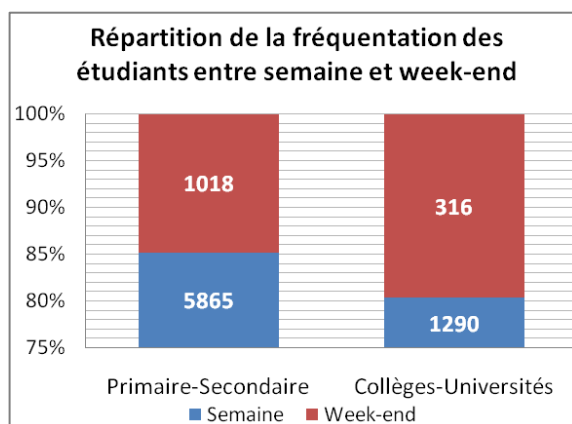


Figure 4-27 - Répartition de l'achalandage quotidien moyen pour les différents titres étudiants

On observe que les déplacements du week-end représentent 15% des déplacements sur l'ensemble de la semaine pour les étudiants du primaire et du secondaire et 20% pour les étudiants des collèges et universités.

La Figure 4-28 et la Figure 4-29 représentent l'achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année pour les deux types de titre étudiants. Les données ayant permis de tracer ces graphiques sont rassemblées dans le Tableau C - 7 à l'ANNEXE C (page 176).

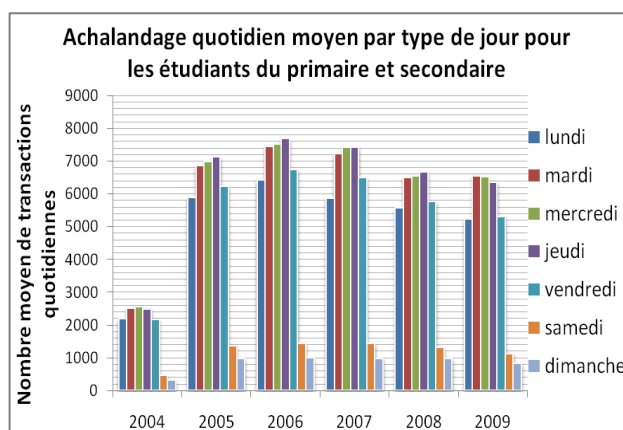


Figure 4-28 – Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année pour les étudiants du primaire et secondaire

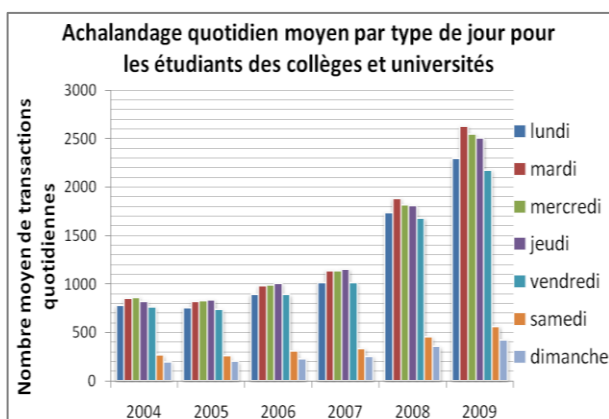


Figure 4-29 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année pour les étudiants des collèges et universités

On retrouve les variations liées aux changements de tarification adoptés par la STO et des variations similaires à celles observées pour les adultes au cours de la semaine, soient des volumes plus importants les mardis, mercredis et jeudis par rapport aux volumes des lundis et vendredis. Les variations entre jours de semaine et jours de week-ends présentent les mêmes proportions que celles des adultes réguliers.

Le Tableau 4-4 rassemble ces variations par types de titres étudiants et par année.

Tableau 4-4 - Comparaison entre les jours de la semaine par année par type de titre étudiant

Moyenne et comparaisons entre les volumes d'achalandage moyens	Année					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
PRIMAIRE ET SECONDAIRE						
1- Moyenne du lundi et vendredi	2 176	6 055	6 583	6 170	5 662	5 262
2- Moyenne du mardi, mercredi et jeudi	2 507	6 986	7 551	7 352	6 567	6 469
3- Moyenne du lundi au vendredi	2 374	6 614	7 164	6 877	6 208	5 986
4- Moyenne du samedi	458	1373	1 442	1 424	1 305	1 130
5- Moyenne du dimanche	323	968	987	984	981	824
Diminution de 2 à 1	13,2%	13,3%	12,8%	16,1%	13,8%	18,7%
Diminution de 3 à 4	80,7%	79,2%	79,9%	79,3%	79,0%	81,1%
Diminution de 3 à 5	86,4%	85,4%	86,2%	85,7%	84,2%	86,2%

COLLÈGES ET UNIVERSITÉS						
1- Moyenne du lundi et vendredi	768	746	890	1 013	1 709	2 233
2- Moyenne du mardi, mercredi et jeudi	844	826	991	1 141	1 837	2 560
3- Moyenne du lundi au vendredi	813	794	951	1 090	1 786	2 429
4- Moyenne du samedi	264	262	307	334	452	563
5- Moyenne du dimanche	198	199	227	254	353	423
Diminution de 2 à 1	9,0%	9,7%	10,1%	11,2%	7,0%	12,7%
Diminution de 3 à 4	67,5%	67,0%	67,7%	69,3%	74,7%	76,8%
Diminution de 3 à 5	75,7%	75,0%	76,1%	76,7%	80,2%	82,6%

La baisse d'achalandage entre la moyenne d'achalandage des lundis et vendredis et celle des autres jours de semaine est plus importante pour les étudiants du primaire et secondaire par rapport aux étudiants des collèges et universités, de même que la baisse d'achalandage entre les jours de semaine et les jours de week-end. À titre d'hypothèse pouvant expliquer les différences entre les deux types de titres étudiants, on peut penser au fait que les étudiants du primaire et secondaire habitent généralement chez leurs parents et sont donc moins dépendants des transports en commun, contrairement aux étudiants des cycles plus élevés habitant plus souvent en appartement et ne possédant généralement pas de véhicule personnel.

Enfin, la Figure 4-30 représente l'achalandage quotidien moyen des étudiants par jour de la semaine et par mois.

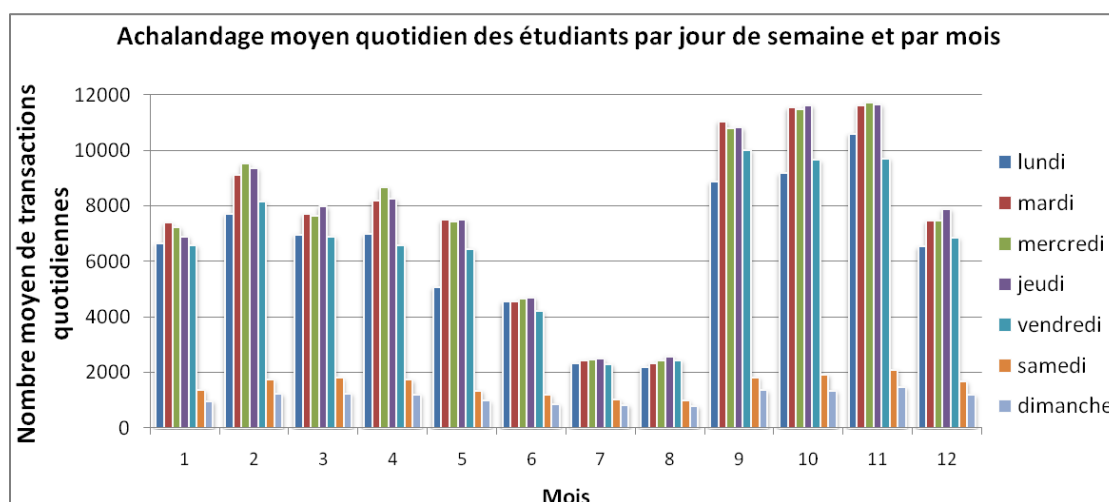


Figure 4-30 – Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par mois pour les étudiants

On retrouve les variations observées précédemment entre les jours de la semaine sauf pour les mois de juin, juillet et août pendant lesquels la fréquentation des étudiants diminue beaucoup du fait que la majorité d'entre eux n'est plus astreint à un emploi du temps étudiant pendant les vacances d'été. Il avait déjà été possible de constater que les profils d'achalandage chez les étudiants sont moins évidents à identifier notamment à cause des périodes de vacances plus nombreuses et dont les dates changent selon les années. De plus, ces périodes de vacances sont différentes en fonction du type d'étudiant. Enfin, on constate de nouveau que les volumes des lundis et vendredis ne peuvent pas toujours être qualifiés de comparables.

4.2.2.3 Aînés

Dans le cas des aînés, l'achalandage quotidien moyen par type de jour par année est donné par la Figure 4-31. Les données ayant permis de tracer le graphique sont rassemblées dans le Tableau C - 8 à l'ANNEXE C (page 176).

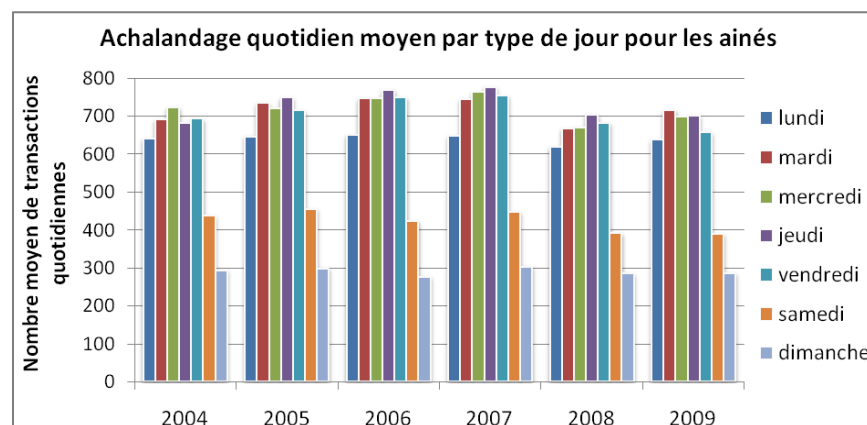


Figure 4-31 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année pour les aînés

Le profil d'achalandage en fonction des jours de semaine chez les aînés est différent de celui des adultes et des étudiants. En effet, les variations entre les jours de la semaine sont moins importantes. Pour ce type d'utilisateurs, les volumes des jours de semaine semblent comparables, hormis le lundi qui présente une fréquentation légèrement plus faible en moyenne. De plus, la différence entre les jours de semaine et les jours de week-end reste visible mais la baisse d'achalandage est plus faible que dans le cas des adultes et des étudiants. En effet, on avait pu constater que les aînés effectuent plus de 30% de leurs déplacements pendant la fin de semaine (Figure 4-20, page 83).

Le Tableau 4-5 permet de chiffrer les variations identifiées sur la Figure 4-31.

Tableau 4-5 - Comparaison entre les jours de la semaine par année pour les aînés

Moyenne et comparaisons entre les volumes d'achalandage moyens	Année					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1- Moyenne du lundi	641	647	650	647	619	637
2- Moyenne du mardi, mercredi, jeudi et vendredi	697	730	753	759	680	693
3- Moyenne du lundi au vendredi	686	713	733	736	668	682
4- Moyenne du samedi	437	455	424	447	391	390
5- Moyenne du dimanche	294	299	276	304	285	286
Augmentation de 1 à 2	8,8%	12,9%	15,8%	17,3%	9,9%	8,7%
Diminution de 3 à 4	36,2%	36,2%	42,2%	39,3%	41,4%	42,8%
Diminution de 3 à 5	57,2%	58,1%	62,3%	58,7%	57,3%	58,1%

L'achalandage quotidien moyen montre une hausse entre le lundi et les autres jours de semaine qui varie entre 8% et 18%. De plus, la diminution d'achalandage entre la moyenne des jours de semaine et le samedi est d'environ 40% et aux alentours de 60% pour le dimanche, ce qui constitue des baisses de fréquentation plus faibles de la semaine au week-end par rapport aux adultes et aux étudiants.

Enfin, la Figure 4-32 représente l'achalandage quotidien moyen par type de jour en fonction du mois de l'année.

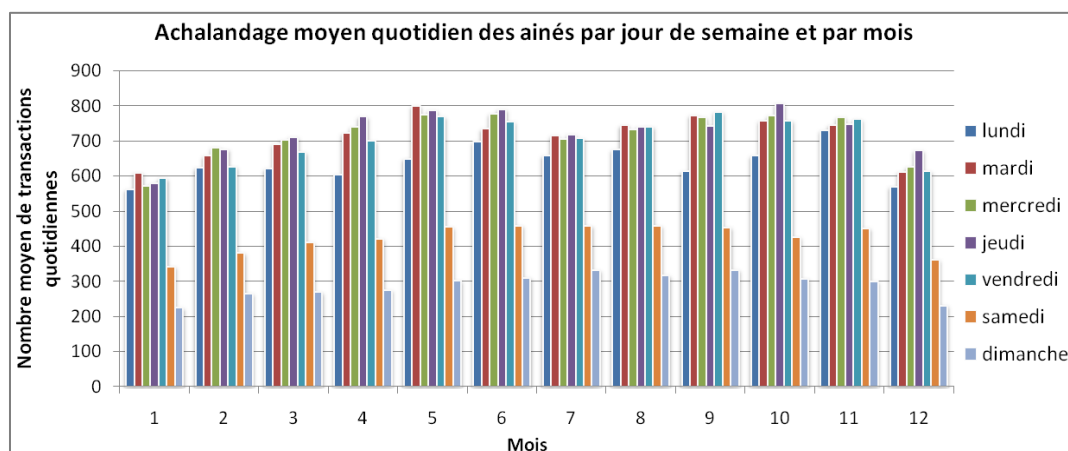


Figure 4-32 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par mois pour les aînés

On constate qu'il est difficile d'identifier un profil d'achalandage récurrent sur tous les mois de l'année. Cependant, le volume moyen du lundi est le plus souvent inférieur aux volumes des autres jours de semaine.

4.3 Achalandage des jours fériés et des vacances

Les sections 4.1 (page 68) et 4.2 (page 82) ont permis de constater que les volumes d'achalandage sont impactés durant les périodes de vacances, ce qui implique des baisses plus ou moins importantes selon le type d'utilisateur. De plus, il est probable que les jours fériés s'apparentent à des jours de vacances durant lesquels les usagers ont des activités principalement familiales ou dédiées aux loisirs entraînant des modifications dans les déplacements. L'objectif de cette section est donc de déterminer l'impact des vacances et des jours fériés sur l'achalandage en fonction des différents types d'utilisateurs et dans la mesure du possible de les quantifier.

4.3.1 Considérations sur le calendrier

Dans un premier temps, il faut identifier les événements liés au calendrier pouvant avoir des impacts directs ou indirects sur l'achalandage. D'après les analyses menées précédemment, on peut citer les éléments suivants :

- Les week-ends : une baisse d'achalandage survient naturellement la fin de semaine pour tous les types d'utilisateurs comme il a été constaté dans les deux sections précédentes.
- Les jours fériés : le réseau de la STO étant partagé entre le Québec et l'Ontario, il faut prendre en compte les jours fériés de ces deux provinces canadiennes. Les jours fériés sont rassemblés dans le Tableau 3-2 lors de la section 3.2.2 (page 57) et le Tableau D - 1 à l'ANNEXE D (page 177).
- Les vacances : les périodes de vacances causent des baisses d'achalandage. Ces chutes d'achalandage ont des ampleurs différentes selon le type d'utilisateur. De plus, les vacances sont des périodes assez problématiques à définir précisément. En effet, pour les adultes, il n'y a pas de dates précises pour délimiter les vacances et pour les étudiants, les dates de vacances varient en fonction du niveau d'étude et des établissements scolaires. Ainsi, dans cette étude, les baisses d'achalandage constatées ont servi à définir les périodes de vacances pour les adultes, les étudiants du primaire et secondaire et des étudiants des

collèges et universités respectivement. Les étudiants au niveau primaire et secondaire ont des périodes de vacances assez facilement identifiables comme les vacances d'été (selon l'année considérée à partir de fin juin, juillet et août), deux semaines en décembre et une semaine pendant la période de février et mars. Les collégiens et universitaires ont les vacances les plus difficiles à délimiter. En effet, les collèges et les universités n'ont pas les mêmes vacances, au sein d'un même type de titre de transport. Les établissements peuvent avoir des dates de vacances décalées et dans le cas des universités, les périodes de lecture et d'examens sont sujettes aux baisses d'achalandage. Enfin, la session d'été n'est pas une période de vacances officielle mais moins de cours sont donnés, ce qui provoque une baisse intermédiaire de la fréquentation avant les vacances d'été.

Tableau 4-6 - Vacances déterminées à partir des données de cartes à puce

Type d'utilisateurs	Périodes de vacances	Description
Adultes	Vacances d'hiver	Période enregistrant une baisse d'achalandage correspondant aux vacances d'hiver des étudiants du primaire et du secondaire : une semaine de fin février à début mars.
	Vacances d'été	Période correspondant principalement aux mois de juillet et d'août.
	Vacances de Noël	Période des fêtes de fin d'année : deux semaines s'étalant sur fin décembre et début janvier.
Étudiants primaire et secondaire	Vacances d'hiver	Période d'une semaine de fin février à début mars.
	Vacances d'été	Période s'étalant de fin juin à début septembre. Cette période est précédée d'une phase de baisse progressive d'achalandage de plusieurs semaines correspondant aux révisions et aux examens de fin de session.
	Vacances de Noël	Période des fêtes de fin d'année : deux semaines s'étalant sur fin décembre et début janvier. Cette période est précédée d'une phase de baisse progressive d'achalandage de deux semaines correspondant aux examens de fin de session.
	Périodes de fin de session	Périodes précédant les vacances d'été et les vacances de Noël pendant lesquelles l'achalandage présente une baisse progressive jusqu'aux vacances.
Étudiants collèges et universités	Relâche d'hiver	Période de lecture d'une semaine fin février.
	Vacances d'été	Période s'étalant de début mai à début septembre. Cette période est précédée d'une phase de baisse progressive d'achalandage au cours du mois d'avril correspondant aux révisions, aux examens de fin de session et au passage à la session d'été.

Type d'utilisateurs	Périodes de vacances	Description
	Relâche d'automne	Période de lecture d'une semaine commençant le lundi de l'action de grâces.
	Vacances de Noël	Période des fêtes de fin d'année : deux semaines s'étalant sur fin décembre et début janvier.
	Périodes de fin de session	Périodes précédant les vacances d'été et les vacances de Noël pendant lesquelles l'achalandage présente une baisse progressive jusqu'aux vacances.
Aînés	Pas de périodes de vacances clairement identifiables.	

- Les événements spéciaux : les événements sportifs, culturels, manifestations (...) sont des événements susceptibles d'impacter ponctuellement l'achalandage, sur l'ensemble ou une partie du réseau. Cependant, ces dates étant difficilement identifiables sur l'ensemble de la période de données, les événements de ce type n'ont pas été considérés dans l'étude.
- Les événements internes à la STO : les grèves, incident et travaux (...) survenant au niveau de la STO sont également susceptibles d'avoir une influence sur l'achalandage. Cependant, pour la même raison que les événements spéciaux, ces événements ne sont pas pris en compte dans la présente étude.

4.3.2 Visualisation de l'impact sur l'achalandage par type de titre

Avant de chercher à chiffrer l'impact des vacances et des jours fériés sur l'achalandage, il est intéressant de visualiser dans quelle mesure cet impact intervient et les différences entre les différents types d'utilisateur. Pour cela, on a choisi l'année 2006 car on y observe bien la normalité d'achalandage étudiée dans les sections précédentes et elle ne présente pas d'anomalie notable d'achalandage. Les périodes de vacances apparaissent sur fond jaune et les jours fériés sont repérables par des bâtons orange (Québec) et verts (Ontario).

La Figure 4-33 concerne la fréquentation des adultes au cours de l'année 2006.

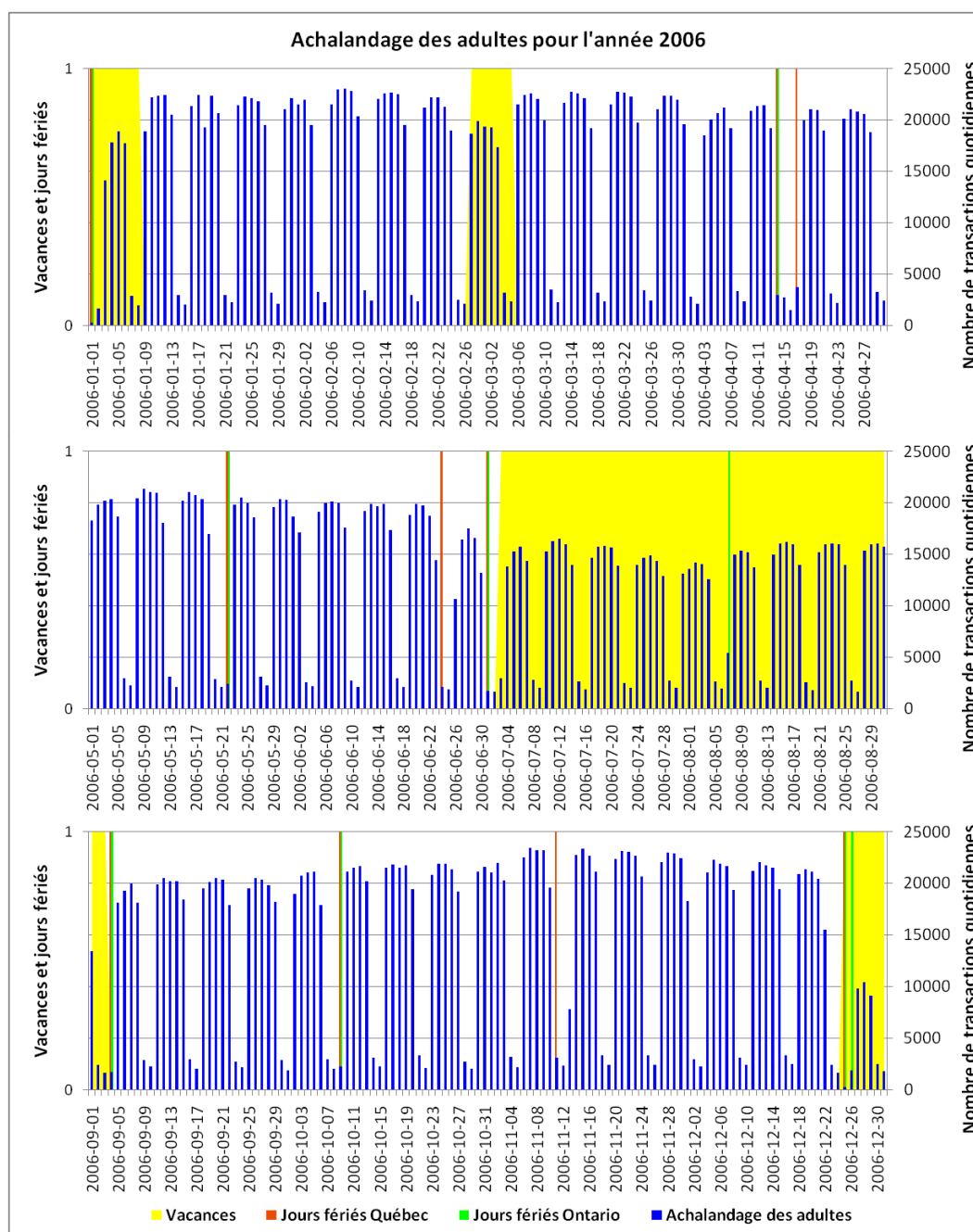


Figure 4-33 - Influence des vacances et jours fériés sur l'achalandage des adultes pour l'année 2006

En ce qui concerne les vacances, les baisses d'achalandage sont visibles mais la variation ne représente environ qu'un quart de l'achalandage en période normale. La chute d'achalandage la plus importante a lieu pendant la période de Noël, période à laquelle l'achalandage baisse de plus de la moitié de sa valeur normale. À propos des jours fériés, la chute d'achalandage est très nette et la fréquentation s'apparente à celle d'un dimanche en règle générale.

La Figure 4-34 représente l'achalandage des étudiants du primaire et du secondaire, toujours pour l'année 2006.

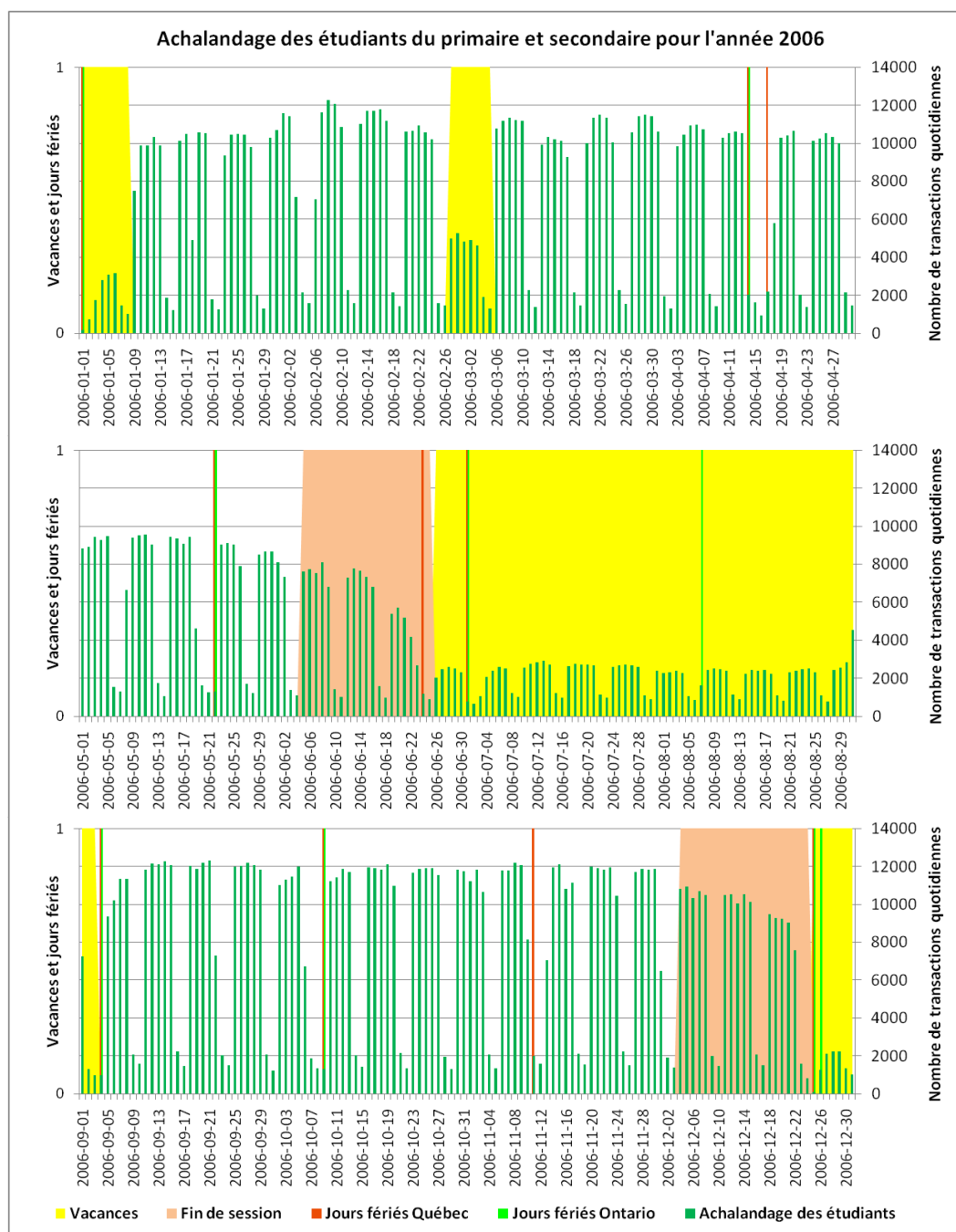


Figure 4-34 - Influence des vacances et jours fériés sur l'achalandage des étudiants du primaire et secondaire pour l'année 2006

En comparaison avec les adultes, les périodes de vacances sont beaucoup plus marquées en termes de baisse d'achalandage chez les étudiants. En effet, lors des vacances d'hiver, l'achalandage chute de plus de moitié par rapport à la fréquentation habituelle et d'environ trois quarts lors des vacances d'été et de Noël. Les périodes sur fond rose n'existent pas chez les adultes car elles correspondent à des périodes de baisse progressive de l'achalandage précédant les vacances d'été et de Noël. Elles marquent les périodes de révision et d'examens principalement. Pendant les jours fériés, la fréquentation ressemble à celle d'une fin de semaine comme cela a été observé pour les adultes. De plus, on constate des baisses induites sur des jours proches de jours fériés, principalement lorsque celui-ci est voisin d'un week-end ce qui n'apparaissait pas pour les adultes. C'est ce que l'on peut appeler le phénomène de « long week-end » ou de « pont », pour lesquels on peut disposer de quatre jours consécutifs en ne ratant qu'un jour de cours. Ce phénomène existe sûrement chez les adultes qui peuvent choisir de prendre un jour de congé pour allonger leur week-end mais l'importance du phénomène est sans doute moindre donc n'apparaît pas visuellement dans la fréquentation.

Enfin, la Figure 4-35 représente l'achalandage des étudiants des collèges et universités pour l'année 2006.

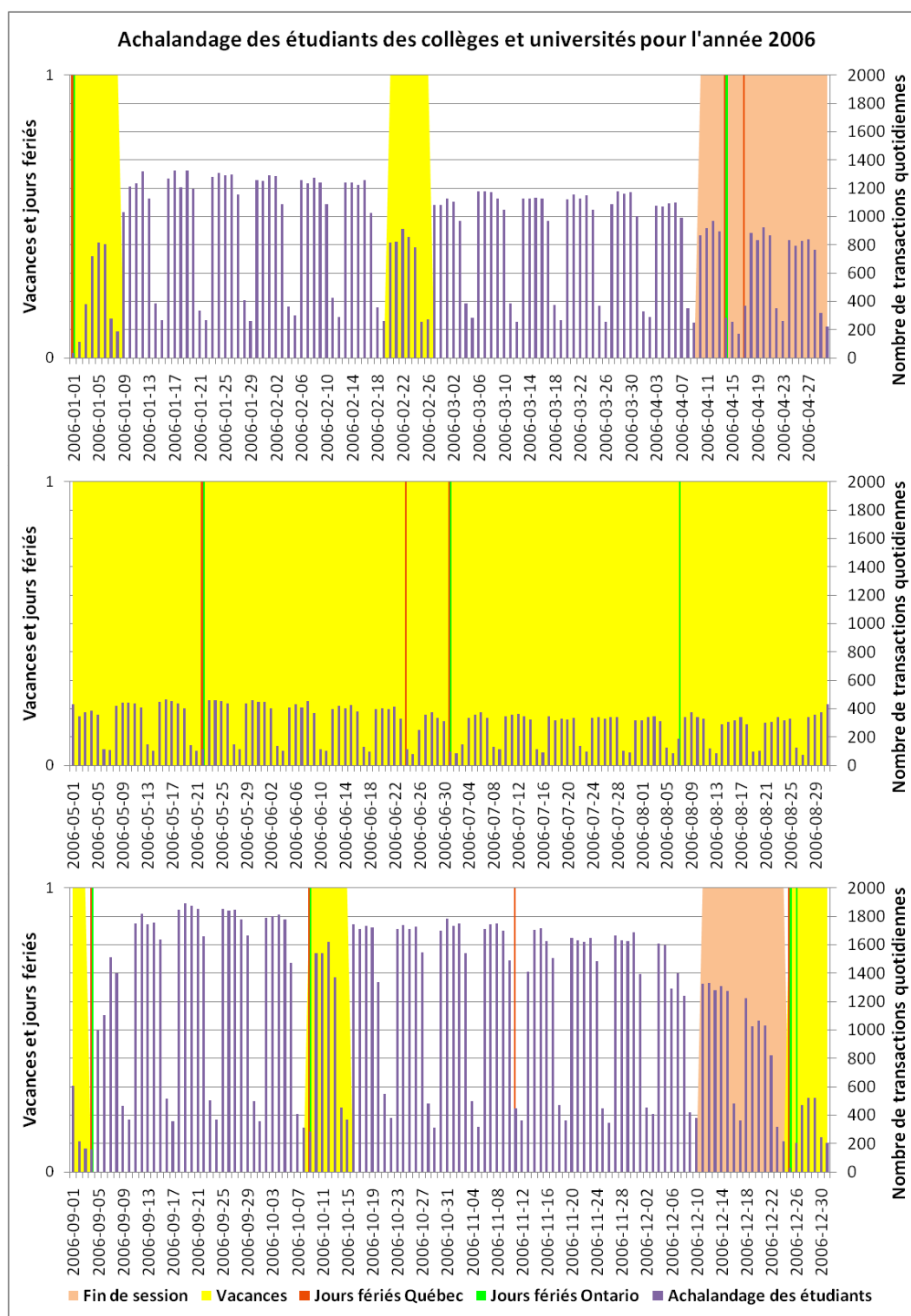


Figure 4-35 - Influence des vacances et jours fériés sur l'achalandage des étudiants des collèges et universités pour l'année 2006

En ce qui concerne cette classe d'étudiants, la principale observation est la durée très importante de la période des vacances d'été. Cette durée est liée à la session d'été, correspondant à mai et juin, lors de laquelle peu de cours sont offerts. En effet, on peut voir que la fréquentation est très légèrement plus élevée lors de la session d'été que pendant juillet et août. Les périodes de relâche sont clairement identifiables même si la chute d'achalandage est moins forte que lors des vacances d'hiver pour les étudiants du primaire et du secondaire. Enfin, on observe de nouveau les baisses progressives aux fins de session d'hiver et d'automne. Au sujet des jours fériés, les observations sont les mêmes que pour les étudiants du primaire et secondaire.

Relativement aux titres aînés, on se contentera d'étudier les variations d'achalandage liées aux jours fériés car il n'existe pas de périodes de vacances déterminées pour ce type d'utilisateurs.

4.3.1 Impact des jours fériés

Les jours fériés engendrent une forte baisse d'achalandage, quel que soit le type d'utilisateur. L'objectif de cette section est de quantifier cette baisse d'achalandage en fonction du jour férié considéré et du type d'utilisateur. Pour cela, on compare l'achalandage du jour férié considéré avec la moyenne d'achalandage des mêmes jours de semaine calculée sur les deux semaines précédentes. Le calcul peut être formulé selon l'équation suivante, avec x le jour férié considéré :

$$\Delta\text{Achalantage}(x)(\%) = \left(\frac{\text{Achalantage}(x)}{\frac{\text{Achalantage}(x-7) + \text{Achalantage}(x-14)}{2}} - 1 \right) \times 100$$

On peut formuler les remarques suivantes :

- On calcule la moyenne à partir des mêmes jours de semaine que le jour férié considéré du fait que l'on a pu observer que l'achalandage subissait des variations en fonction des jours de la semaine;
- La moyenne est réalisée sur les deux semaines précédentes afin de tenir compte de la saisonnalité car on a pu observer que l'achalandage varie en fonction du mois de l'année;
- Le calcul effectué a pour but de comparer l'achalandage du jour férié considéré avec des jours dont l'achalandage est qualifié de « normal ». Ainsi, il n'est pas souhaitable qu'un autre jour férié intervienne dans la moyenne. Dans les cas où cela se produit, on décale de

sept jours en amont les jours intervenant dans la moyenne. Par exemple, le jour de l'an tombe une semaine après Noël. De ce fait, l'achalandage du jour de Noël, beaucoup plus bas qu'un jour « normal », devrait intervenir dans la moyenne. On considère alors le calcul suivant :

$$\Delta Achalandage(x)(\%) = \left(\frac{Achalandage(x)}{\frac{Achalandage(x-14) + Achalandage(x-21)}{2}} - 1 \right) \times 100$$

- En ce qui concerne les étudiants du primaire et du secondaire, la période de données considérée débute en septembre 2005, date à laquelle l'achalandage de ce type de titre se stabilise suite à sa sortie en juin 2004 (voir section 4.1, page 68).

Les variations moyennes d'achalandage sur l'ensemble de la période d'étude pour les différents jours fériés et par type d'usager sont rassemblées dans le Tableau 4-7. Le Tableau D - 2 à l'ANNEXE D (page 178) récapitule les données utilisées pour calculer ces variations moyennes.

Tableau 4-7 - Variations d'achalandage engendrées en moyenne par jour férié selon le type d'usager

Variation d'achalandage		Type de titre		
Jour férié	Adultes	Étudiants primaire et secondaire	Étudiants collèges et universités	Ainés
Jour de l'an	-95,4%	-96,3%	-95,3%	-94,9%
Jour de la famille	-12,6%	9,3%	-32,2%	-22,6%
Vendredi saint	-85,1%	-79,8%	-71,0%	-39,5%
Lundi de Pâques	-83,4%	-79,6%	-73,3%	-48,9%
Journée des patriotes/Fête de Victoria	-88,2%	-81,3%	-79,1%	-57,2%
Fête du Québec	-39,4%	-58,9%	-31,0%	-32,7%
Fête du Canada	-81,8%	-78,1%	-65,5%	-61,2%
Colonel by day	-65,4%	-40,0%	-50,6%	-18,2%
Fête du travail	-88,9%	-67,4%	-57,5%	-66,7%
Action de grâces	-88,8%	-90,1%	-84,7%	-56,5%
Jour du souvenir	-39,4%	-7,3%	-9,1%	-21,5%

Variation d'achalandage		Type de titre		
Noël	-95,8%	-97,6%	-95,3%	-96,2%
Lendemain de Noël	-75,9%	-85,4%	-68,5%	-58,1%

Les variations ainsi calculées sont porteuses de plusieurs informations intéressantes. En effet, on constate que l'impact des jours fériés dépend grandement du jour férié considéré ainsi que du type d'usagers concerné. La chute d'achalandage la plus importante liée à des jours fériés survient à Noël et au jour de l'an, dépassant 95% de baisse par rapport aux deux semaines précédant les vacances de Noël quel que soit le type d'utilisateur concerné. Bien que le lendemain de Noël ne soit férié qu'en Ontario, la chute de fréquentation est importante ce jour-là. Le vendredi Saint et le lundi de Pâques (long week-end de Pâques), la journée des patriotes, la fête du Canada, la fête du travail et l'action de grâce présentent en moyenne des baisses de fréquentation d'environ 90% pour les adultes, proches de 80% pour les étudiants du primaire et secondaire, entre 80 et 90% pour les étudiants des collèges et universités et entre 40 et 60% pour les aînés. La baisse d'achalandage est moins importante pour la fête du Québec sans doute du fait du partage du réseau entre le Québec et l'Ontario. De même, le Colonel By Day n'est férié qu'en Ontario et fait partie d'une période de vacances, ce qui explique la baisse d'achalandage plus faible. Enfin, le jour de la famille étant un jour férié instauré très récemment (2008) et seulement en Ontario, la variation d'achalandage ne suit pas celles des autres jours fériés étudiés.

4.3.2 Impact des vacances

Au même titre que les jours fériés, les vacances engendrent une forte baisse d'achalandage, quelque soit le type d'utilisateur. L'objectif de cette sous-section est donc le même que pour la section précédente, à savoir quantifier la variation d'achalandage en fonction de la période de vacances considérée et du type d'utilisateur. Pour cela, on compare la moyenne d'achalandage sur la totalité de la période de vacances avec la moyenne d'achalandage des deux semaines précédant cette période. Le calcul peut être formulé par l'équation suivante, avec p la période de vacances considérée, M_p la moyenne quotidienne sur p et $M_{Réf/p}$ la moyenne quotidienne sur les deux semaines précédant p :

$$\Delta Achalandage(p)(\%) = \left(\frac{M_p}{M_{Réf/p}} - 1 \right) \times 100$$

On peut formuler les remarques suivantes :

- Les périodes de vacances et les périodes de référence sont des semaines complètes afin que la contribution de chaque jour de la semaine soit la même dans la moyenne, du fait des différences de volume selon le jour de la semaine considéré;
- La moyenne de référence est réalisée sur les deux semaines précédentes afin de tenir compte de la saisonnalité car on a pu observer que l'achalandage varie en fonction du mois de l'année;
- Le calcul effectué a pour but de comparer l'achalandage moyen de la période de vacances avec des semaines dont l'achalandage est qualifié de « normal ». Ainsi, il n'est pas souhaitable qu'un jour férié ou autre jour présentant une fréquentation particulière intervienne dans la moyenne. Dans les cas où cela se produit, on décale d'une ou deux semaines en amont les semaines intervenant dans la moyenne de référence;
- Dans le cas des deux types d'étudiants, on a pu identifier des périodes qualifiées de fin de session avant les vacances d'été et de Noël pendant lesquelles l'achalandage est décroissant. Les deux semaines servant à calculer la moyenne de référence sont alors les deux semaines précédant cette période de fin de session;
- Il a été possible d'identifier une période présentant des anomalies d'achalandage du 20 mars 2008 au 20 avril 2008 pour tous les types de titres. Ces anomalies se manifestent par des variations inexplicables de la fréquentation et qui ne suivent pas la normalité sur les jours de semaine (voir section 4.2, page 82). La moyenne de référence pour les vacances d'été 2008 des étudiants des collèges et universités aurait dû être calculée sur des semaines présentant des anomalies d'achalandage. Afin d'obtenir une référence pertinente, la moyenne a été calculée sur les deux semaines précédant cette période d'anomalies;
- Comme pour les jours fériés, la période de données considérée pour les étudiants du primaire et du secondaire débute en septembre 2005.

Les variations moyennes d'achalandage pour les différentes périodes de vacances et par type d'utilisateur sont rassemblées dans le Tableau 4-8. Le Tableau D - 3 à l'ANNEXE D (page 180) récapitule les données utilisées pour calculer ces variations moyennes.

Tableau 4-8 - Variations d'achalandage engendrées en moyenne par les vacances selon le type d'utilisateur

Variations d'achalandage		2004	2005	2006	2007	2008	2009
Adultes	Hiver	-9,9%	-10,8%	-11,0%	-8,5%	-9,3%	-5,7%
	Été	-19,8%	-23,1%	-22,0%	-21,2%	-21,0%	-23,9%
	Noël	-51,4%	-45,6%	-52,7%	-59,8%	-59,1%	
Étudiants Primaire-Secondaire	Hiver			-58,8%	-63,6%	-63,0%	-64,6%
	Été			-66,8%	-65,6%	-67,4%	-68,9%
	Noël		-77,7%	-82,9%	-84,2%	-86,2%	
Étudiants Collèges-Universités	Relâche d'hiver	-19,0%	-22,7%	-29,6%	-21,3%	-30,6%	-33,1%
	Été	-61,4%	-66,1%	-65,9%	-70,9%	-62,3%	-79,9%
	Relâche d'automne		-31,8%	-25,3%	-27,4%	-22,2%	-21,9%
	Noël	-62,0%	-56,9%	-68,2%	-78,3%	-80,4%	

On peut constater que les périodes antérieures à septembre 2005 ne sont pas disponibles pour les étudiants du primaire et secondaire car ce titre n'a été mise en servie qu'en 2005. De plus, les vacances de Noël 2009 ne sont pas étudiées car les données fournies par la STO s'arrêtent au 20 novembre 2009. De plus, il n'a pas été possible d'identifier de période de relâche d'automne pour les étudiants des collèges et universités, sans doute à cause du découpage des titres étudiants avant l'année 2005.

Les vacances de Noël présentent la chute d'achalandage la plus importante pour tous les types d'utilisateurs avec une baisse maximale d'environ 80% en ce qui concerne les étudiants du primaire et secondaire. La période de Noël donne généralement lieu à des festivités en famille occasionnant des déplacements en région ou autre ce qui provoque sans doute en grande partie ces variations importantes. Les vacances d'été engendrent également de fortes baisses de fréquentation en raison des grands départs. Les changements de mode de déplacement en raison des conditions climatiques plus agréables peuvent également contribuer à ces variations

d'achalandage. En ce qui concerne les étudiants des collèges et universités, les périodes de relâche donnent lieu à des baisses d'achalandage variant entre 20 à 30% environ. Enfin, il est intéressant de constater que les variations de l'achalandage des adultes correspondant aux vacances d'hiver des étudiants du primaire et secondaire peuvent représenter une baisse de plus de 10% par rapport à la fréquentation normale.

4.4 Influence du paiement bancaire

Le type de paiement est rendu disponible grâce à la carte à puce car cette information est liée à l'identifiant du propriétaire de la carte. Ainsi, il est possible de séparer les transactions réalisées avec une carte à puce rechargée grâce au paiement bancaire de celles réalisées par des usagers rechargeant leur carte aux différents points de rechargement de la STO. Dans un premier temps, on peut penser que le mode de paiement n'a pas d'impact sur l'achalandage. Cependant, l'objectif des différentes tarifications de la STO est d'atteindre le plus d'utilisateurs possible et de mettre en place un processus de fidélisation. Le programme Fidélité par lequel les usagers adultes et aînés peuvent régler par paiement bancaire est un abonnement annuel s'inscrivant dans cette démarche de fidélisation, grâce auquel les usagers bénéficient d'une réduction de 10% sur le tarif mensuel³⁶. Ainsi, il est intéressant d'étudier l'influence du mode de paiement pour les titres adultes et aînés.

4.4.1 Adultes

On étudie l'influence du mode de paiement pour chaque type de titres adultes. La Figure 4-36 représente l'achalandage par jour de données en séparant les deux modes de paiement. Dans le cas des adultes réguliers, on constate immédiatement une différence sur les volumes quotidiens ainsi qu'une différence de tendance entre les deux modes de paiement.

³⁶ Société de Transport de l'Outaouais. Modes de paiement. Consulté le 15 mars 2011. Tiré de http://www.sto.ca/tarification/paiement_f.html.

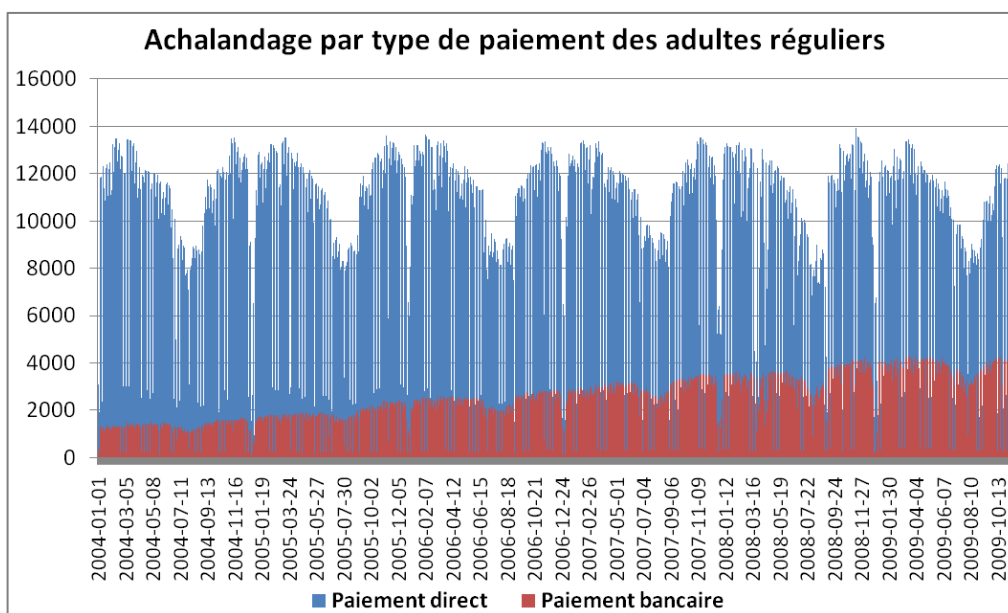


Figure 4-36 - Achalandage des adultes réguliers payant par paiement direct et par paiement bancaire

Une tendance à la hausse sur l'ensemble de la période d'étude avait été identifiée lors de l'étude préliminaire de l'achalandage de la section 4.1 (page 68). Lors de cette étude, seul l'achalandage des aînés ne présentait pas de croissance. On peut faire deux observations très intéressantes d'après la Figure 4-36. Tout d'abord, seules les transactions des paiements bancaires semblent contribuer à la tendance croissante. De plus, les variations saisonnières affectent principalement l'achalandage des usagers payant au mois.

La Figure 4-37 représente, toujours dans le cas des adultes réguliers, les courbes de l'achalandage quotidien moyen par mois au total et par mode de paiement ainsi que les tendances linéaires de ces courbes. Il est alors possible de visualiser les contributions des modes de paiement aux variations de fréquentation.

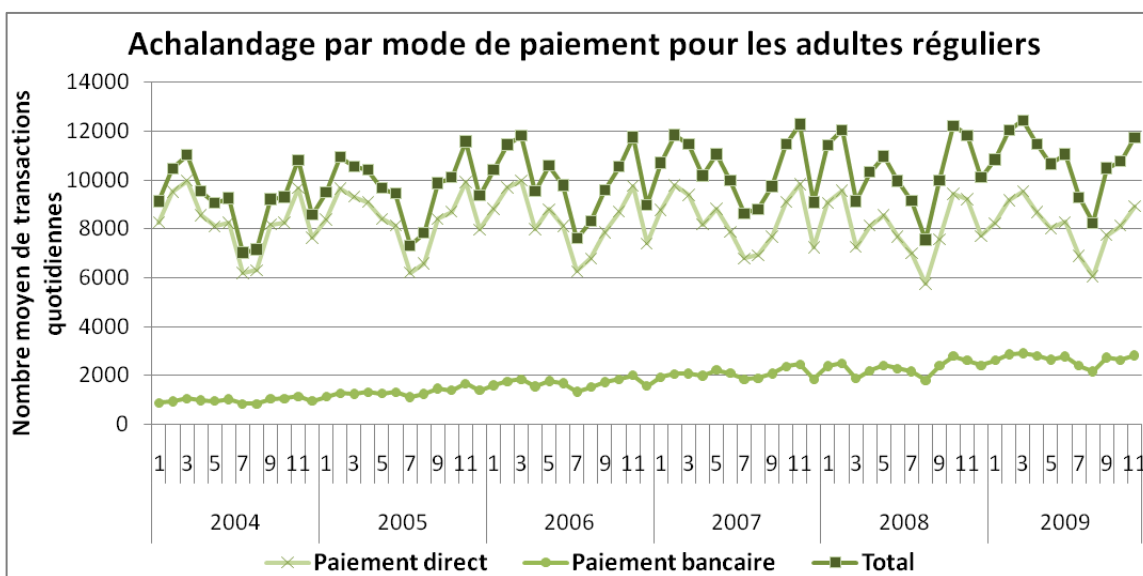


Figure 4-37 - Tendances liées au mode de paiement pour les adultes réguliers

Grâce à ce graphique, on confirme que seules les transactions des usagers utilisant le paiement bancaire contribuent à la croissance de l'achalandage sur l'ensemble de la période d'étude. La moyenne quotidienne d'achalandage des paiements au mois présente même une tendance à la baisse. Au sujet de ces tendances, l'explication la plus plausible est la fidélisation des usagers grâce au paiement bancaire. En effet, il est probable que les usagers utilisant le paiement bancaire sont des usagers qui ont testé précédemment le réseau et pour des raisons pratiques et financières décident de passer à un abonnement annuel. Cela provoque un transfert d'utilisateur qui explique en partie la tendance à la hausse du paiement bancaire et à la baisse du paiement au mois. De plus, les usagers utilisant le paiement bancaire étant plus fidélisés au réseau, l'infidélité chez les usagers du paiement au mois est sans doute plus important, ce dont témoigne la stagnation voire la décroissance de l'achalandage quotidien pour le paiement au mois.

La cause des variations cycliques plus importantes chez les usagers payant au mois est sans doute liée au fait que ces usagers sont libres de ne pas recharger leur titre chaque mois, par exemple pendant les vacances ou pendant les périodes durant lesquelles ils peuvent faire le choix d'un autre mode de transport. À titre d'exemples, ces usagers peuvent préférer utiliser leur véhicule personnel l'hiver lorsque la marche à pied et l'attente sont rendues difficiles à cause des conditions climatiques ou encore se déplacer à vélo lors des mois durant lesquelles les conditions météorologiques sont plus propices à ce mode de transport. Or le paiement bancaire est associé à

un abonnement annuel, ce qui implique que les usagers paient forcément tous les mois de l'année. C'est certainement pour cette raison que les usagers adhérant au paiement bancaire utilisent leur titre de manière plus continue et donc que les variations saisonnières sont moins prononcées. Ce phénomène est une autre résultante du processus de fidélisation des usagers par lequel la STO « contraint » les usagers à utiliser le réseau toute l'année.

Par la suite, on procède de même avec les autres titres adultes et les aînés pour déterminer s'ils obéissent aux mêmes principes que les adultes réguliers. Ainsi, la Figure 4-38 et la Figure 4-39 représentent l'achalandage par jour pour les adultes express et les adultes interzone respectivement.

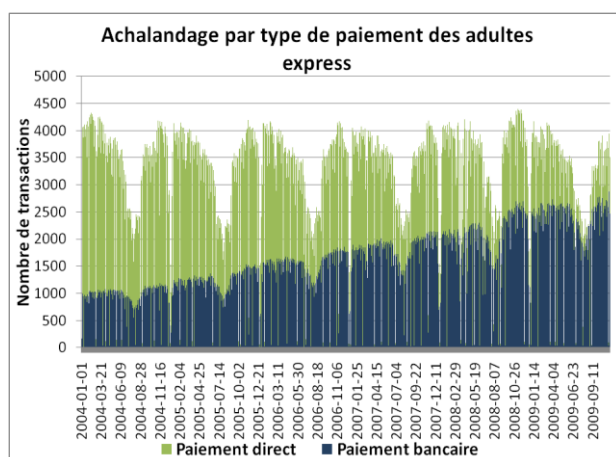


Figure 4-38 - Achalandage des adultes express payant par paiement direct et par paiement bancaire

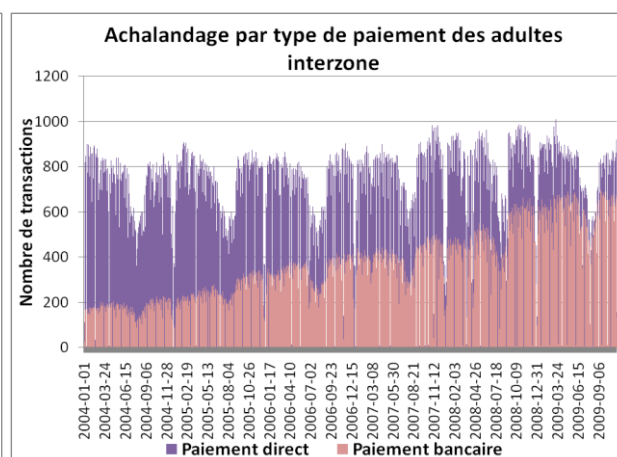


Figure 4-39 - Achalandage des adultes interzone payant par paiement direct et par paiement bancaire

On constate de nouveau que la tendance à la hausse est provoquée par les transactions des utilisateurs du paiement bancaire alors que l'achalandage concernant les usagers payant au mois reste stable mais présente plus de variations saisonnières cycliques. Les raisons que l'on peut attribuer à ces phénomènes sont les mêmes que celles proposées dans le cas des adultes réguliers. En termes de volumes d'achalandage, la différence avec les adultes réguliers est que les volumes d'utilisateurs utilisant le paiement bancaire se rapprochent des volumes des usagers rechargeant leur titre mensuellement. Afin de quantifier ces deux phénomènes, la Figure 4-40 et la Figure 4-41 représentent l'achalandage quotidien moyen par mois pour les adultes express et les adultes interzone respectivement.

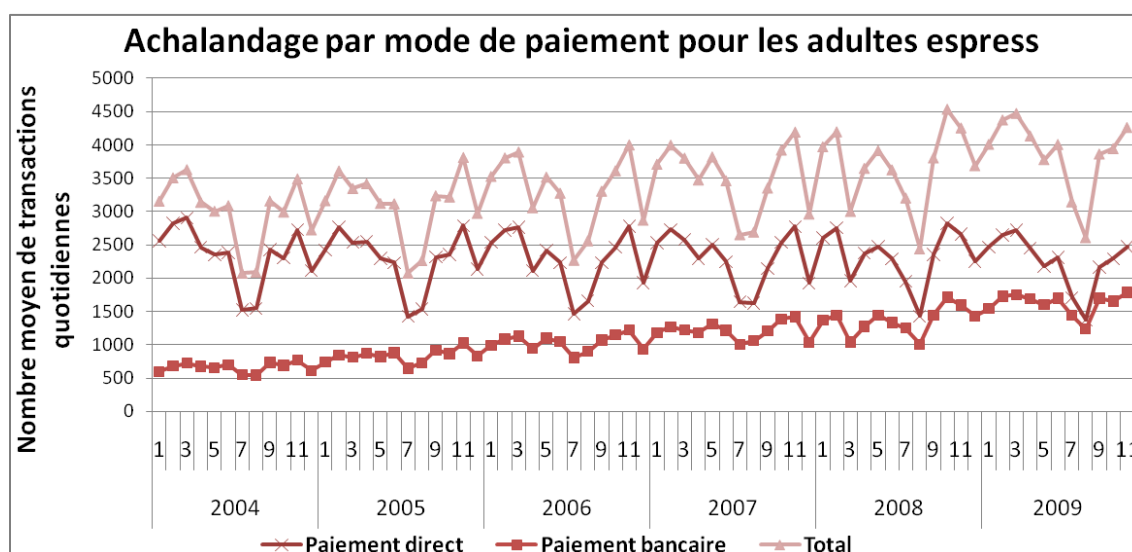


Figure 4-40 - Tendances liées au mode de paiement pour les adultes express

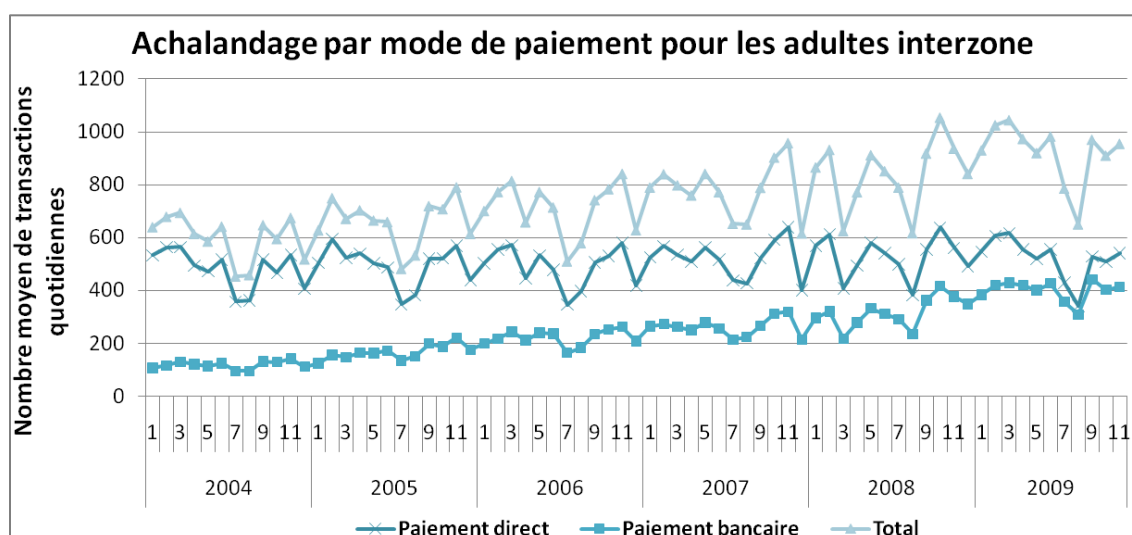


Figure 4-41 - Tendances liées au mode de paiement pour les adultes interzone

Dans le cas des adultes express, la tendance est à la baisse dans le cas des usagers payant au mois et seules les transactions des usagers utilisant le paiement bancaire contribuent à la tendance à la hausse sur le nombre total de transactions. Pour les adultes interzones, il existe une très légère tendance croissante sur l'achalandage des paiements au mois mais la tendance présente un taux de croissance dix fois plus important dans le cas des paiements bancaires.

Concernant les volumes, on peut prévoir que le nombre de transactions réalisées par des usagers adhérant au paiement bancaire dépassera très prochainement celui des usagers payant au mois. En

prolongeant les tendances comme cela est présenté à la Figure 4-42, le nombre transactions quotidiennes réalisées avec des titres par paiement bancaire devraient devenir prédominant par rapport au paiement au mois d'ici 36 mois.

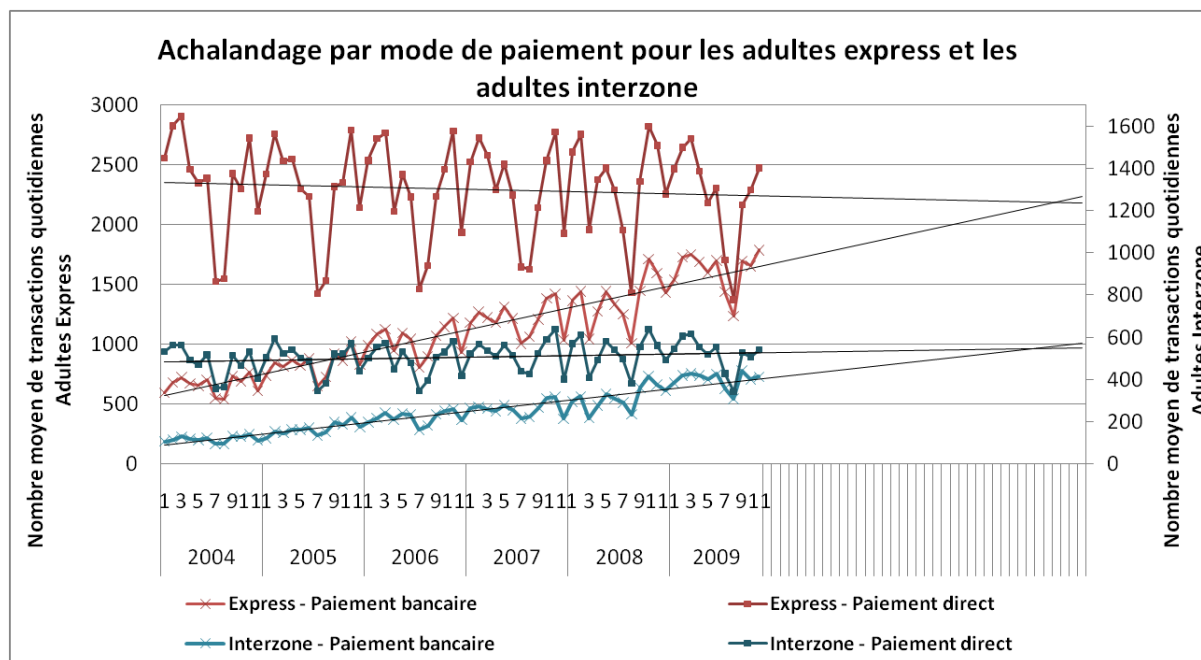


Figure 4-42 - Prolongement de la tendance pour les adultes express et les adultes interzone

4.4.2 Aînés

Pour terminer cette section sur l'influence du mode de paiement, on s'intéresse aux aînés qui ont également la possibilité d'adhérer au programme Fidélité. La Figure 4-43 représente l'achalandage par dates de données pour les titres aînés en considérant séparément les deux modes de paiement et les courbes de tendance sont présentées grâce à la Figure 4-44.

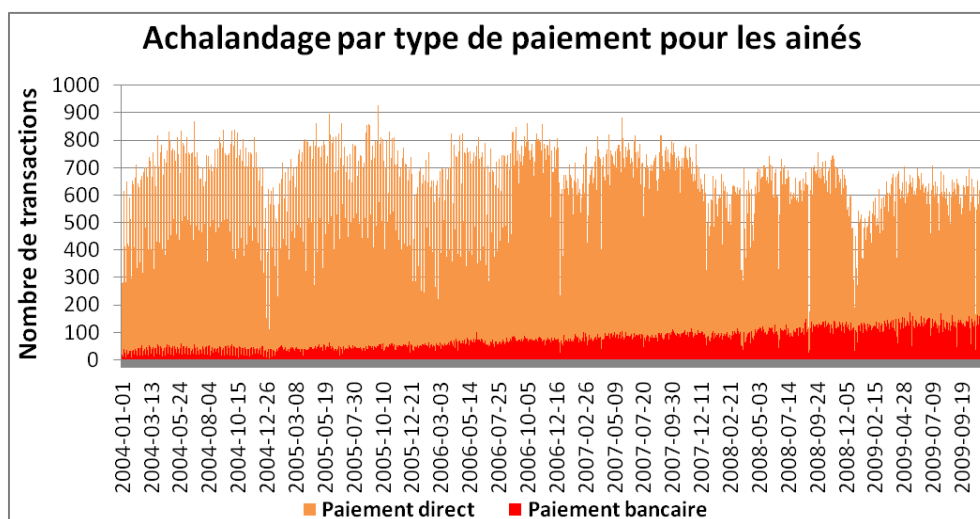


Figure 4-43 - Achalandage des aînés payant par paiement direct et par paiement bancaire

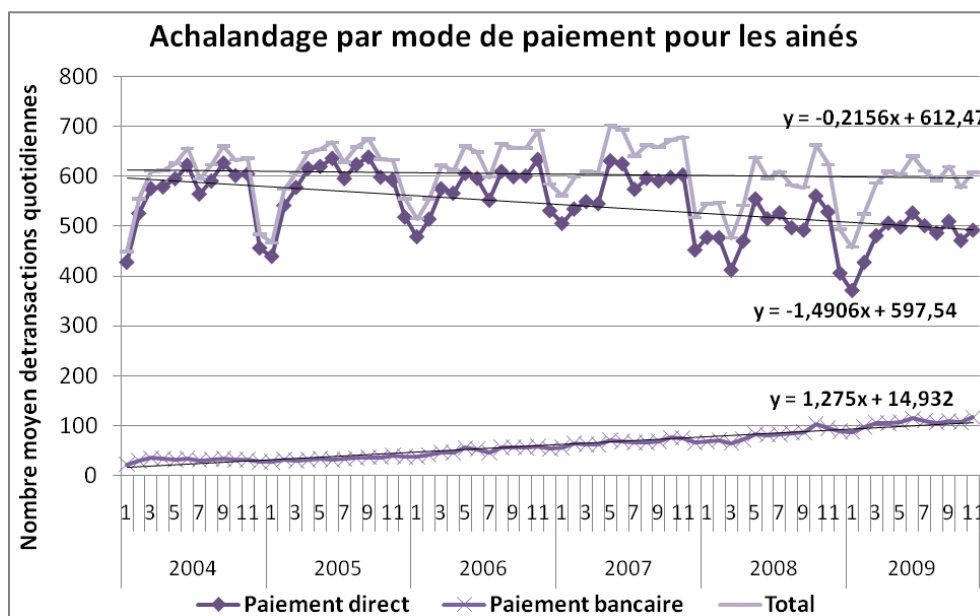


Figure 4-44 - Tendances liées au mode de paiement pour les aînés

En comparant les données pour les deux modes de paiement, on constate de nouveau que le nombre de transactions réalisées par des usagers utilisant le paiement bancaire présente une tendance à la hausse alors que dans le cas du paiement direct, le nombre de transactions quotidiennes semble présenter une tendance constante de 2004 à 2007 et une tendance à la baisse pour 2008 et 2009. En ce qui concerne les différences de volumes d'achalandage, on observe que le paiement bancaire a moins de succès pour les aînés. Les hypothèses explicatives que l'on peut

formuler sont multiples, telles qu'une moins grande familiarisation des aînés avec les procédures par internet et le paiement bancaire automatique, des revenus moins importants que ceux des adultes qui leur font préférer le paiement au mois ou encore que les aînés préfèrent garder la liberté de ne pas recharger leur titre tous les mois, pendant les mois où les conditions climatiques sont plus rigoureuses par exemple.

Enfin, relativement à l'achalandage engendré par les déplacements des aînés, seuls les usagers utilisant le paiement au mois ont réduit leurs déplacements lors des années 2008 et 2009. Il est difficile de fournir une explication à ce phénomène car on ne constate pas de transfert entre le paiement au mois et le paiement bancaire, ce qui porte à penser qu'un nombre conséquent d'usagers a décidé de ne pas utiliser le réseau en des proportions telles que le nombre de nouveaux usagers n'a pu compenser ces départs.

4.5 Conclusions sur la normalité des déplacements

Cette première étude a permis de mettre en évidence un certain nombre de variations principalement liées au calendrier et au système de tarification de la STO et de les quantifier en fonction des différents types d'usagers.

Dans un premier temps, on a montré que la répartition des transactions réalisées par les différents types d'usagers est inégale avec une grande majorité des transactions effectuée avec des titres adultes, suivis des titres étudiants et enfin des titres aînés. L'étude sur la normalité des déplacements a montré que la fréquentation dépend grandement du type d'utilisateur considéré, ce qui est principalement dû aux activités principales présumées des individus. L'achalandage global montre une tendance à la hausse ainsi que des variations saisonnières. À l'échelle des usagers, la fréquentation des adultes et des étudiants présente une tendance à l'augmentation sur l'ensemble de la période d'étude alors que celle des aînés reste dans l'ensemble stable. Concernant les variations saisonnières, l'achalandage des étudiants présente les fluctuations les plus importantes principalement dues aux périodes de vacances. La fréquentation des adultes subit également des variations mais sur des périodes moins longues que pour les étudiants. Enfin, l'achalandage des aînés montre les variations les moins prononcées, la seule période de baisse remarquable étant autour des fêtes de fin d'année.

Dans un second temps, on s'est intéressé aux variations d'achalandage à l'échelle des jours de semaine. De nouveau, la fréquentation des adultes et des étudiants présente les plus fortes variations et celle des aînés les plus faibles. Pour quantifier ces variations, on a proposé des calculs d'indicateurs permettant de comparer les volumes moyens d'achalandage entre les différents jours de la semaine. Pour les adultes et les étudiants, on peut considérer que les volumes d'achalandage des lundis et des vendredis sont comparables entre eux sur la semaine, de même que les mardis, les mercredis et jeudis. La fréquentation chute de manière remarquable la fin de semaine avec des volumes minimaux le dimanche. Ces variations sont valables également pour les aînés mais elles sont moins prononcées.

Dans un troisième temps, on s'est concentré sur des événements globalement délaissés dans la littérature qui sont les vacances et les jours fériés bien qu'ils influencent grandement les déplacements, surtout dans le cas des adultes et des étudiants. Dans le but d'étudier ces périodes, on a proposé des indicateurs permettant de comparer la fréquentation des vacances et des jours fériés avec des périodes d'achalandage « normal ». Ces calculs ont permis de quantifier les baisses d'achalandage moyennes impliquées par les différentes périodes de vacances et par les différents jours fériés en fonction des types de titres. Les vacances de Noël impliquent les baisses de fréquentation les plus importantes et les jours fériés provoquant les plus grandes diminutions d'achalandage sont justement le jour de Noël et le jour de l'An.

Dans un dernier temps, on a examiné l'influence du type de paiement, du fait que les adultes et les aînés ont la possibilité d'adhérer à un système de paiement bancaire en adoptant un abonnement annuel. On a pu constater une différence de profil entre paiement bancaire et paiement comptant, l'observation principale étant que les titres réglés par paiement bancaire contribuent en majeure partie à la hausse observée sur l'achalandage total du type d'utilisateur considéré. On a ainsi pu commenter le principe de la fidélisation et son importance pour les agences de transports collectifs.

Ces conclusions permettent une meilleure compréhension des comportements des utilisateurs du réseau et plusieurs d'entre elles serviront de référentiel pour la seconde étude sur l'impact des conditions météorologiques.

CHAPITRE 5 DEUXIÈME ÉTUDE : INFLUENCE DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Cette deuxième étude a pour objectif d'identifier et de quantifier l'impact des conditions météorologiques sur la fréquentation des usagers de la STO. Pour cela, on met en œuvre trois approches, utilisant les quatre types de méthodes citées lors de la section 2.5.1 (page 38) de la revue de littérature, qui permettent progressivement de déterminer de plus en plus précisément l'impact des conditions météorologiques sur le comportement des différents types d'usagers. Ces approches intègrent une grande partie des résultats obtenus lors de la première étude sur la normalité des déplacements.

5.1 Étude des différentes variables météorologiques

Dans un premier temps, on peut mettre en évidence par trois exemples l'impact ponctuel que peuvent avoir les différentes variables météorologiques sur la fréquentation des usagers. De plus, une étude des conditions météorologiques de la région permet de se faire une idée des variables météorologiques susceptibles d'influencer les déplacements des usagers et à quelles périodes de l'année. Les données météorologiques quotidiennes disponibles comprennent principalement la pluviosité, les chutes de neige, la température moyenne, les températures minimales et maximales, l'accumulation de neige au sol, la vitesse et direction des rafales de vent maximales.

5.1.1 Mise en évidence par trois exemples

Lors de l'étude de l'impact des vacances et des jours fériés sur l'achalandage, certaines baisses isolées d'achalandage avaient été constatées sans pour autant pouvoir être expliquées d'après le calendrier. En revenant à ces « anomalies » lors de la présente section, il est possible de faire l'hypothèse que ces baisses d'achalandage peuvent être le résultat d'événements météorologiques.

On a pu constater une baisse de l'achalandage total le 3 décembre 2007 à laquelle on ne peut pas apporter d'explications. En effet, bien que le lundi ait un achalandage normalement plus faible que le mardi, mercredi et jeudi, la baisse pour ce lundi est particulièrement remarquable. De plus,

cette baisse de fréquentation survient hors de toute période de vacances, de fin de session et n'est pas un jour férié. L'achalandage total autour de cette date est donné à la Figure 5-1.

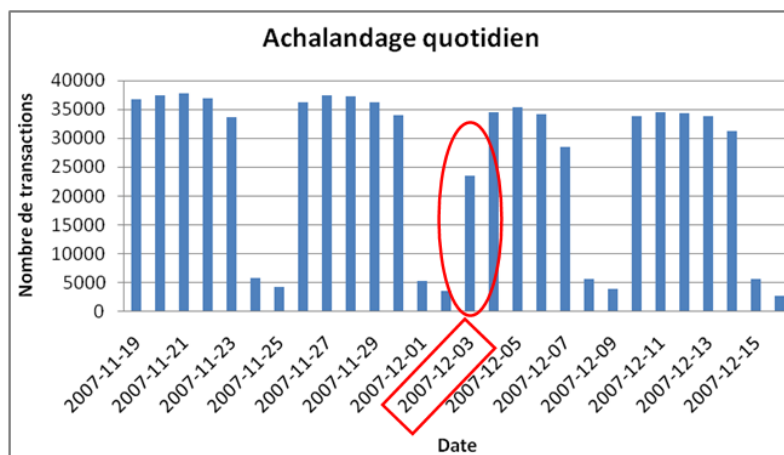


Figure 5-1 - Achalandage total fin novembre à début décembre 2007

Afin de trouver une explication possible à cette variation, on peut considérer les conditions météorologiques de la période correspondante sur la Figure 5-2, notamment les températures, la pluviosité et les chutes de neige.

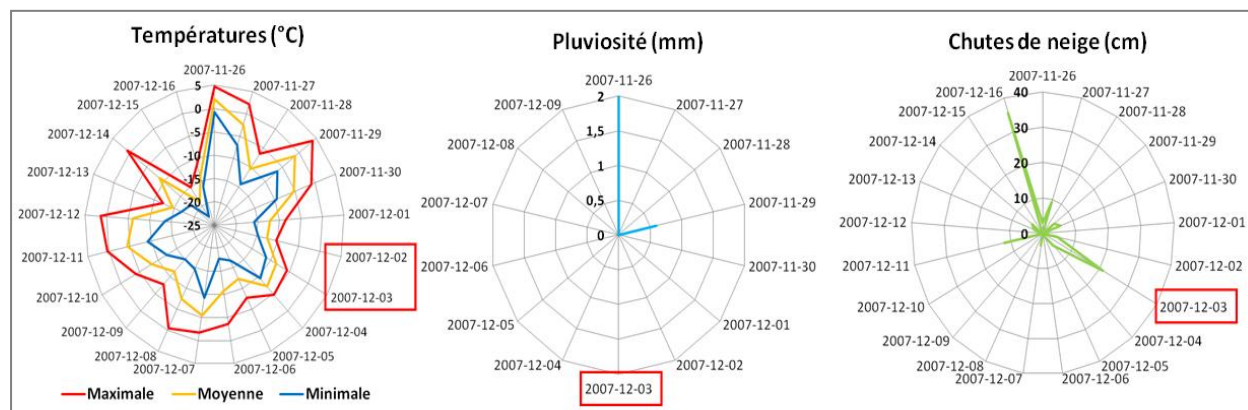


Figure 5-2 - Conditions météo fin novembre à début décembre 2007

On observe que les températures ne sont pas particulièrement basses pour cette période de l'année, la moyenne du 3 décembre étant de -3°C , et la pluviosité est nulle lors de cette journée ce qui était prévisible au vu des températures. Par contre, on constate qu'il est tombé 21,2 cm de neige à cette date. Ainsi, il est probable que cette chute de neige ait entraîné la baisse d'achalandage observée, d'autant plus qu'il s'agit de la deuxième chute de neige importante de l'hiver 2007, la première ayant eu lieu le 21 novembre.

Le deuxième exemple porte sur le mercredi 18 janvier 2006. On peut voir sur la Figure 5-3 que lors de cette journée, l'achalandage total est réduit d'environ un quart par rapport à l'achalandage auquel on pourrait s'attendre conformément à la normalité des déplacements.

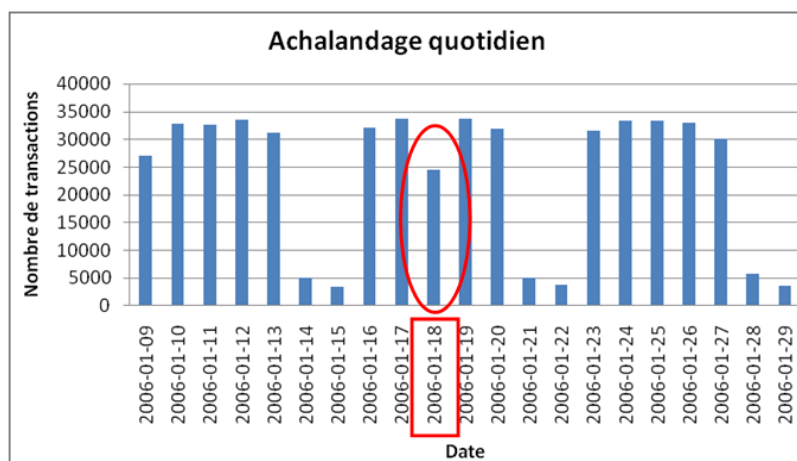


Figure 5-3 - Achalandage total courant janvier 2006

De nouveau, on observe les variables météorologiques à la Figure 5-4 afin de trouver une explication plausible pour cette variation isolée.

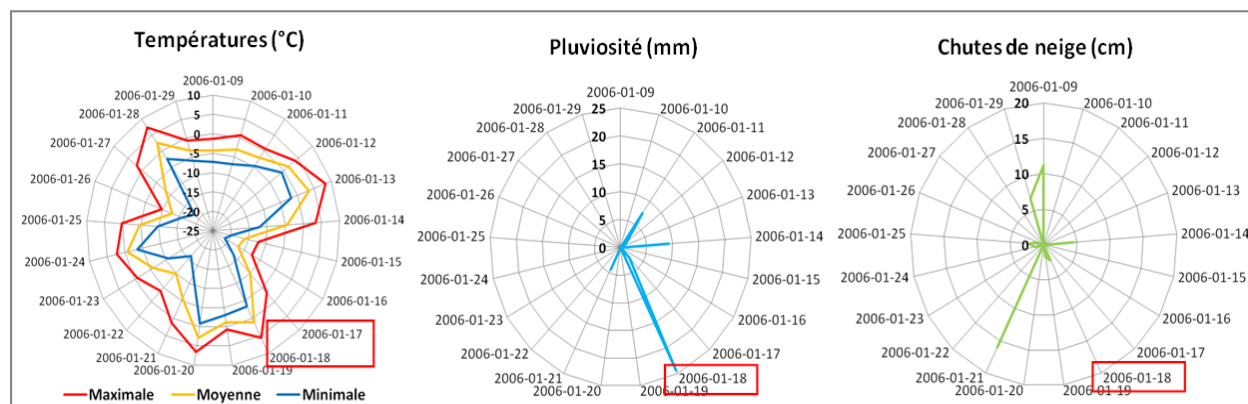


Figure 5-4 - Conditions météo courant janvier 2006

Les températures de cette journée sont douces pour l'hiver avec 1,1°C de moyenne. De plus, les 15, 16 et 17 janvier 2006 ont été des journées froides durant lesquelles les moyennes quotidiennes ont été -16°C, -17°C et -10°C respectivement. Avec la hausse de température du 18 janvier, on pourrait donc plutôt s'attendre à une augmentation d'achalandage. Il n'y a pas eu de chutes de neige ni le 18 janvier ni la semaine précédant cette date. L'explication de la baisse

d'achalandage réside sans doute dans la forte pluie survenue le 18 janvier avec une pluviosité de 24,4 cm.

Enfin, le troisième et dernier exemple porte sur le mois de janvier 2009 et permet de s'intéresser aux températures principalement. La Figure 5-5 et la Figure 5-6 représentent respectivement l'achalandage quotidien total et l'achalandage quotidien des titres ainés au cours de janvier 2009. Sur l'achalandage quotidien total de la Figure 5-6, on observe que les deux semaines entre le 5 et le 18 janvier présentent des variations qui ne sont pas conformes avec la normalité des déplacements. On pourrait cependant associer ces légères variations à la proximité des vacances de Noël qui pourrait entraîner quelques fluctuations d'achalandage. Cependant, certaines constatations peuvent être faites d'après l'achalandage des ainés à la Figure 5-6. En effet, bien que la fréquentation des ainés ne suit pas une normalité aussi déterminée que les autres usagers, des baisses visibles d'achalandage ont lieu le 7 janvier et du 14 au 16 janvier 2009.

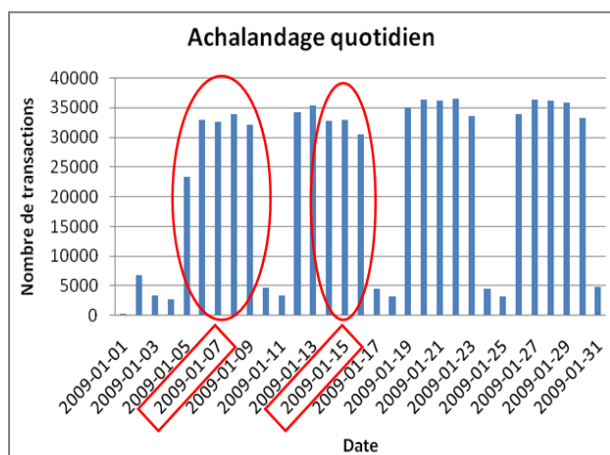


Figure 5-5 - Achalandage total de janvier 2009

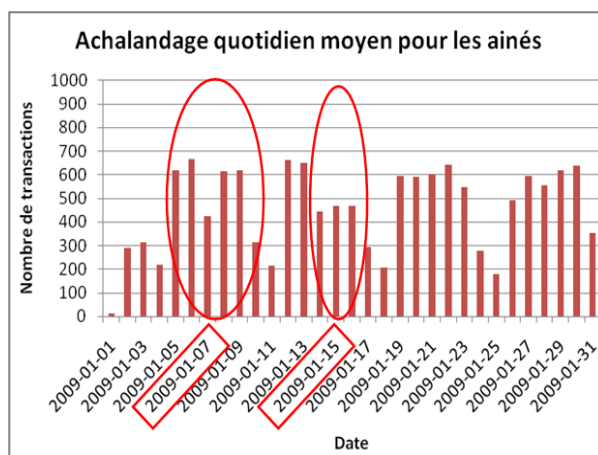


Figure 5-6 - Achalandage des ainés en janvier 2009

Les variables météo de la période correspondante sont données à la Figure 5-7.

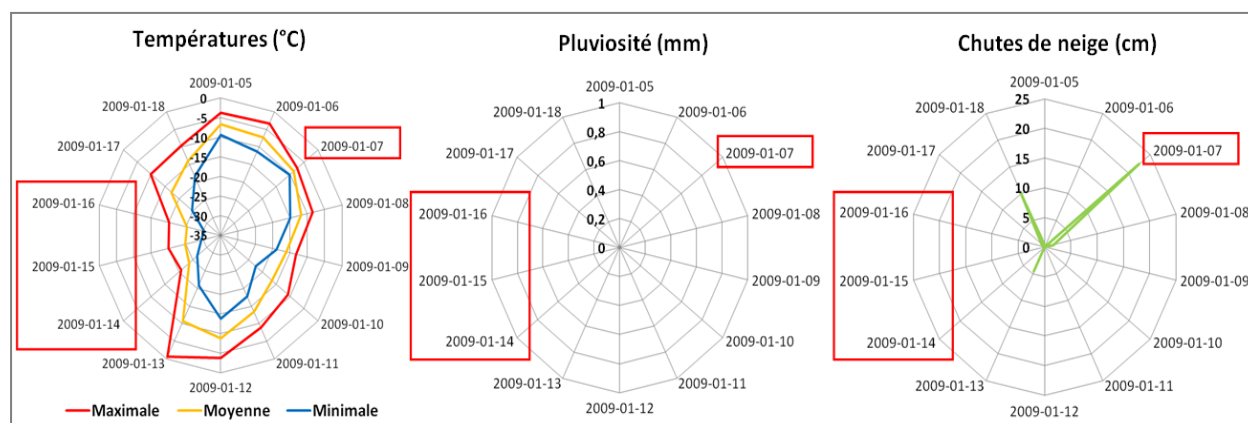


Figure 5-7 - Conditions météorologiques de la mi-janvier 2009

On constate que le 14, le 15 et le 16 janvier sont précisément les trois journées les plus froides du mois de janvier 2009 avec des moyennes quotidiennes de $-23,7^{\circ}\text{C}$, $-24,8^{\circ}\text{C}$ et $-25,2^{\circ}\text{C}$ respectivement. Ces conditions de températures extrêmes peuvent expliquer la baisse de fréquentation observée chez les aînés. De plus, il est tombé 22,4 cm de neige le 7 janvier, jour pour lequel on avait également constaté une chute notable de l'achalandage des aînés.

Pour conclure cette section, les trois exemples précédents ont permis de mettre en évidence l'impact que peuvent avoir les variables météorologiques telles que les températures, la pluie et la neige sur l'achalandage. Par la suite, on tentera de quantifier avec plus de précision les baisses d'achalandage en fonction des conditions météorologiques, de leur intensité et du type d'utilisateur considéré.

5.1.2 Températures

Afin d'étudier l'impact de la température, il n'est pas forcément suffisant de considérer la température moyenne quotidienne. En effet, les températures extrêmes, chaudes et froides, sont plus susceptibles d'entraîner des changements dans les comportements de déplacements des usagers car elles peuvent rendre l'usage des transports en commun désagréable. Ainsi, l'étude menée prendra en compte les températures quotidiennes maximales, principalement l'été, et les températures minimales, l'hiver en particulier. La Figure 5-8 présente les profils de températures par dates de données sur toute la période d'étude.

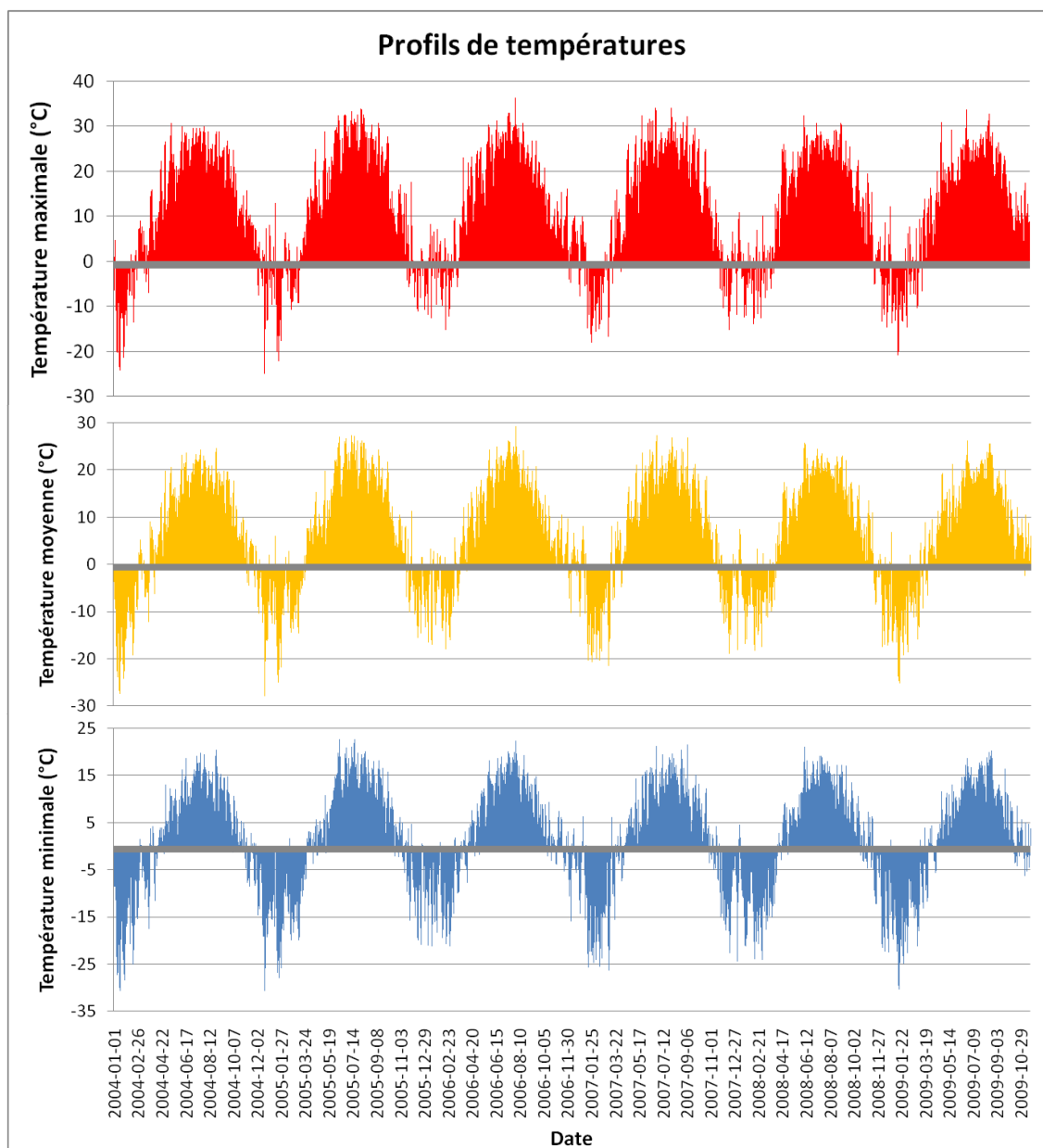


Figure 5-8 - Températures quotidiennes maximales, minimales et moyennes sur toute la période d'étude

Au global, les périodes chaudes et froides alternent, la période hivernale présentant des températures négatives avec des températures minimales pouvant atteindre -30°C et la période estivale lors de laquelle les températures maximales peuvent monter à 35°C au plus fort de l'été.

On peut définir trois types de périodes en ce qui concerne les températures :

- La période froide : de décembre à mars;
- La période chaude : de juin à septembre;

- Les périodes de transition : avril, mai, octobre et novembre.

À partir de la Figure 5-8, on peut constater que les périodes de décembre 2005 à mars 2006 et de décembre 2007 à mars 2008 ont été moins rigoureuses que les autres car elles ne présentent pas de températures inférieures à -25°C . Concernant les périodes chaudes, il est relativement fréquent que les températures maximales approchent ou dépassent les 30°C , principalement en juillet et août. On peut donc faire remarquer que les amplitudes de températures sur l'année sont très importantes dans cette région, ce qui est vrai au Canada en général. Les usagers étant habitués à ces grandes variations, leurs habitudes de déplacements sont adaptées à ces tendances climatiques particulières ce qui implique que les résultats de l'étude sur l'impact des conditions météorologiques ne seront pas directement généralisables à des régions présentant des conditions différentes.

Lors de la période de transition précédant l'été, on constate que les températures ont tendance à se radoucir puis à se rafraîchir de nouveau sur une période d'une à trois semaines. Chaque mois d'avril présente des journées durant lesquelles les températures sont négatives mais le phénomène cité précédemment est particulièrement visible en 2004, 2006, 2007 et 2009. L'impact de ce phénomène peut être intéressant à étudier au niveau de l'achalandage. En effet, il est possible que ces jours de froid suivant des redoux aient plus d'impact sur les comportements des usagers comparativement au cœur de l'hiver où toutes les journées sont froides. La Figure 5-9 représente les moyennes de températures mensuelles sur l'ensemble de la période d'étude.

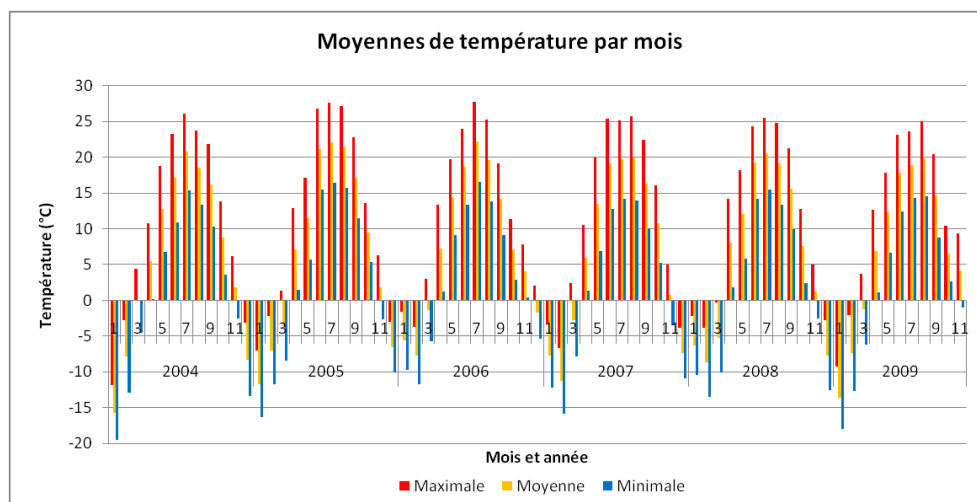


Figure 5-9 - Températures moyennes mensuelles sur la période d'étude

Ainsi, les températures maximales moyennes pour la période dite chaude se situent autour de 25°C et les températures minimales moyennes pour la période dite froide varient de -15 à -20°C. Les périodes de transition présentent des évolutions progressives des températures entre périodes froides et périodes chaudes. Ces moyennes pourront servir de référence dans la suite de l'étude pour évaluer l'impact sur la fréquentation du réseau de STO. Il sera de plus intéressant d'étudier de plus près les journées particulièrement froides ou chaudes.

5.1.3 Pluie

La pluie peut influencer les comportements de déplacement, principalement pour une raison de confort. Cependant, le Québec est une province où la pluie est un phénomène fréquent, surtout en dehors de la période hivernale donc les usagers y sont relativement habitués. L'impact sur l'achalandage dépendra donc sans doute beaucoup de l'importance de la pluviosité. La Figure 5-10 représente la pluviosité par dates de données sur l'ensemble de la période d'étude.

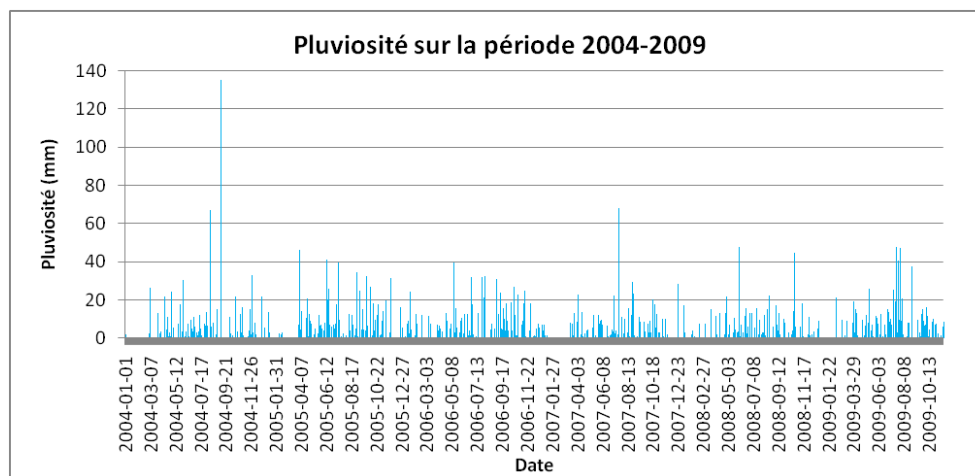


Figure 5-10 - Pluviosité par date de données sur l'ensemble de la période d'étude

Sur l'ensemble de la période étudiée, la pluviosité est non nulle pour plus d'un tiers de l'ensemble des journées étudiées (34,8%). On peut voir que les chutes de pluie sont assez équitablement réparties sur l'année. En général, la pluviosité est proche ou inférieure à deux centimètres et dans certains cas exceptionnels elle dépasse quatre centimètres en une journée. En septembre 2004, il a été enregistré une pluviosité record sur la période d'étude de 135 centimètres tombés en une seule journée. S'il est possible qu'une chute de pluie minime n'ait que peu ou pas d'effet sur l'achalandage, il sera intéressant d'étudier l'impact en fonction de

l'importance de la chute de pluie. La Figure 5-11 représente les pluviosités totales par mois sur la période d'étude.

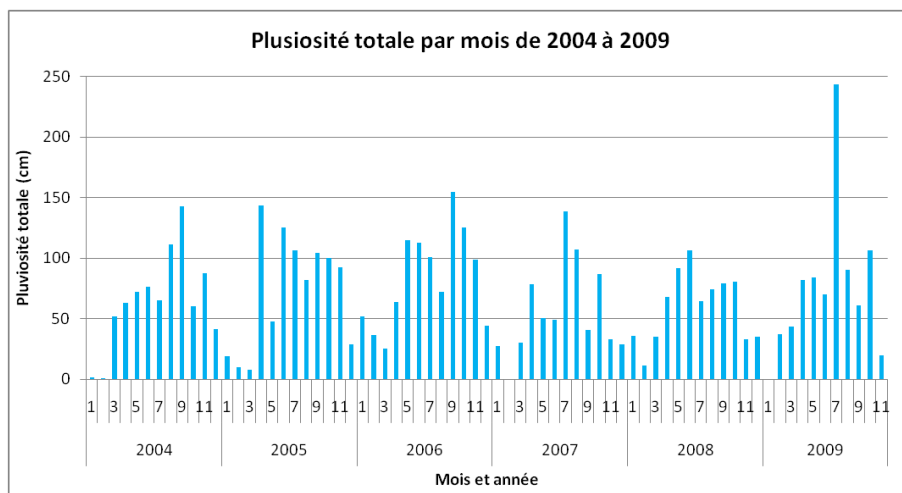


Figure 5-11 - Somme des pluviosités par mois sur toute la période d'étude

On constate que des chutes de pluie surviennent pendant la période hivernale bien qu'elles soient très faibles où absentes en février, mois qui présente en général les plus faibles températures. Hors de la période de décembre à mars, la pluviométrie totale par mois dépasse 55 centimètres par mois dans la plupart des cas mais il n'existe pas de tendance clairement identifiable quand aux mois les plus pluvieux. On peut constater des pluviosités totales plus hautes que la normale les mois de septembre 2004, avril 2005, septembre 2006, juillet 2007 et une pluviométrie totale record pour le mois de juillet 2009.

5.1.4 Neige

Au même titre que la pluie, la neige est très susceptible d'avoir un impact sur l'achalandage du réseau. Le Canada étant un pays présentant une période hivernale longue avec un enneigement important, il faudra étudier l'influence de cette variable sur la fréquentation des transports collectifs. De même que la pluie, la neige est un phénomène habituel pendant la période hivernale, l'influence dépendra sans doute beaucoup de l'importance de la chute de neige ainsi que du moment où elle survient. En effet, les toutes premières chutes de neige de la saison hivernale ou des chutes tardives à la fin de cette période auront peut être plus d'impact sur la fréquentation qu'un phénomène d'ampleur comparable survenant au cœur de l'hiver. La neige aura également sans doute une influence différente en fonction du type d'utilisateur. On peut penser

principalement aux aînés, plus sensibles aux températures et aux possibles accidents tels que les chutes liées à la neige au sol, pour lesquels il est probable que ces usagers fassent le choix de rester chez eux lors d'une tempête de neige. La Figure 5-12 représente les chutes de neige par dates de données, sur les périodes d'octobre à avril, les chutes de neige étant absentes le reste de l'année.

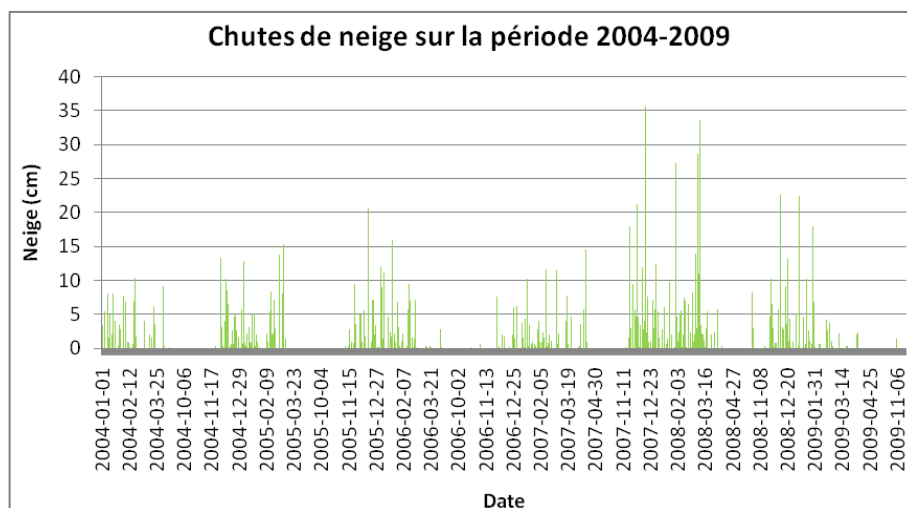


Figure 5-12 - Chutes de neige d'octobre à avril sur toute la période d'étude

Les chutes de neiges sont principalement réparties sur la période bien qu'elles restent exceptionnelles pour les mois d'octobre et d'avril. Pour ces deux mois, il sera intéressant d'étudier l'impact de chutes de neige précoces ou tardives par rapport à la saison hivernale. Les chutes de neige sont ensuite réparties, sans tendance apparente, de novembre à mars.

Les tempêtes pour lesquelles l'épaisseur de neige tombée en une journée est supérieure à quinze centimètres ont un caractère assez exceptionnel, il n'y en a eu que douze en cinq ans. Il sera possible d'étudier au cas par cas ces tempêtes de neige extrêmes. On peut remarquer que l'hiver 2007-2008 a été particulièrement neigeux, comptant six des douze tempêtes extrêmes citées précédemment. La Figure 5-13 représente les chutes de neige totales par mois sur les périodes neigeuses.

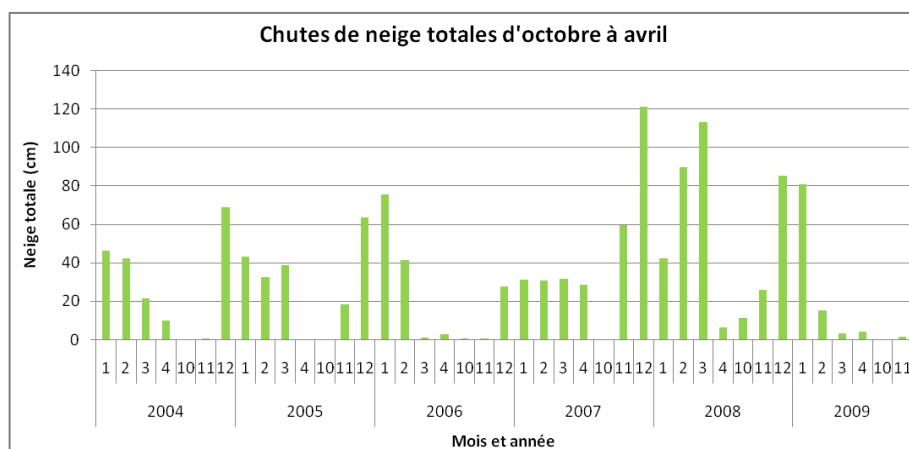


Figure 5-13 - Chutes de neige totales par mois d'octobre à avril

Les mois qui ont tendance à cumuler le plus de chutes de neige sont décembre et janvier, sauf pendant l'hiver 2006-2007 lors duquel les chutes de neige ont été plutôt faibles et équitablement réparties de décembre à avril ainsi que pendant l'hiver 2007-2008 lors duquel l'enneigement a été bien plus important par rapport aux autres années étudiées, particulièrement en décembre, février et mars.

5.1.5 Vent

La vitesse du vent est disponible dans les données météorologiques. On peut tenter de quantifier l'impact de cette variable sur l'achalandage bien qu'il soit peu probable qu'elle ait un effet notoire sur l'achalandage comparativement à la température, à la pluie et à la neige. De plus, le vent intervient souvent de manière combinée avec une des variables précédentes. La Figure 5-14 représente la vitesse du vent par dates de données.

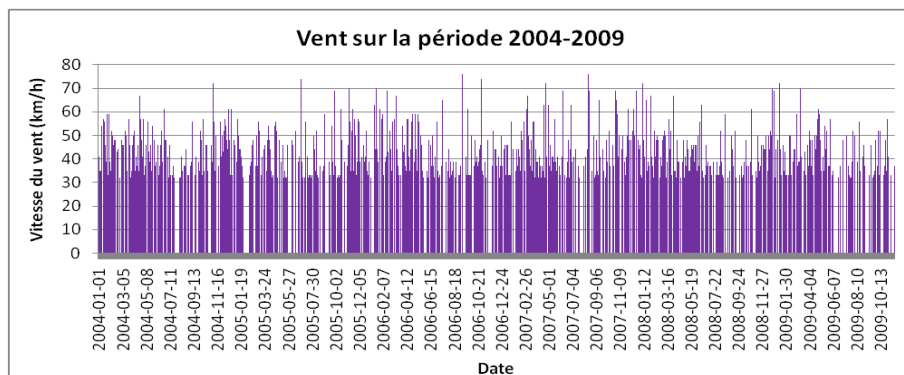


Figure 5-14 - Vitesse du vent par date de données sur toute la période d'étude

On peut constater que pour la région étudiée, le vent est un phénomène fréquent tout au long de l'année et sa vitesse est généralement comprise entre 40 et 60 km/h, ce qui représente des vents assez importants. Ainsi, du fait du caractère habituel des journées venteuses, il est probable que cette variable n'ait que peu ou pas d'impact sur l'achalandage ou bien seulement lorsqu'il est combiné avec une ou plusieurs autres variables météorologiques.

5.1.6 Conclusions sur la pertinence de l'étude sur les conditions météorologiques

On suppose donc, d'après les trois exemples qui le mettent en évidence, que la météo a de l'influence sur l'achalandage et qu'il faut probablement distinguer les différents types d'usagers. Dans la suite, on s'intéressera aux variables météorologiques telles que les températures, la pluviosité et les chutes de neige. En effet, ces trois variables présentent d'importantes variations au cours de l'année. Lors des différentes approches, on veillera à ce que ces variables agissent le moins possible de façon combinée afin de déterminer l'impact de chacune d'entre elles. Pour cela, on a défini trois types de périodes, basées principalement sur les variations de températures mais permettant également de séparer la période hivernale et la période estivale. Ces trois types de périodes sont définis sur l'année et qualifiés de période froide, période chaude et périodes transitoires (2).

Lors de la troisième approche présentée dans cette seconde étude, on s'intéressera aux conditions météorologiques extrêmes en ce qui concerne la pluviosité et les chutes de neige. La visualisation des profils annuels pour ces deux variables météorologiques a conduit à fixer le seuil de pluviosité critique à 35 mm quotidien et celui des tempêtes de neige à 15 cm quotidien.

5.2 Adaptation des données d'achalandage d'après la normalité des déplacements

Lors du Chapitre 4, on a pu constater qu'un certain nombre de facteurs provoquent des variations dans les déplacements des différents types d'usagers, soit sous forme de variations cycliques sur la semaine et sur l'année, soit par des tendances sur l'ensemble de la période d'étude. Pour l'étude de l'impact des conditions météorologiques, les méthodes utilisées par la suite impliquent le calcul de moyennes sur les volumes quotidiens d'achalandage. Or l'intervention dans la même moyenne de données d'années distinctes mène à des résultats peu pertinents, principalement du

fait de la tendance à la hausse de l'achalandage sur l'ensemble de la période d'étude pour la plupart des types d'utilisateurs. En effet, les périodes plus récentes contribueraient davantage dans la moyenne que les périodes précédentes ce qui aurait pour effet de masquer les éventuelles variations liées aux conditions météorologiques. Ainsi, on doit supprimer les tendances des données. En ce qui concerne la saisonnalité, les périodes travaillées et les périodes de vacances seront considérées séparément afin de tenir compte des baisses d'achalandage.

Afin de supprimer les tendances, on ramène chaque période de données à la même moyenne d'achalandage que l'année scolaire 2008-2009 pour prendre en compte les variations dues aux adaptations de tarification chez les étudiants. L'année scolaire sera définie du 1^{er} septembre au 31 août. La période du 1^{er} janvier 2004 au 31 août 2004 est ramenée à la moyenne de la période du 1^{er} janvier 2009 au 31 août 2009 de même que la période du 1^{er} septembre 2009 au 20 novembre 2009 est ramenée à la moyenne de la période du 1^{er} septembre 2008 au 20 novembre 2008. Concernant les étudiants, on considérera la période du 1^{er} septembre 2005 au 20 novembre 2009 pour les étudiants du primaire et secondaire.

La manipulation réalisée sur les données pour supprimer les tendances est simple. On calcule les coefficients d'ajustement C_i grâce aux moyennes de chaque année scolaire, notée par l'indice i . L'année scolaire 2004-2005 porte l'indice 1 et 2008-2009 l'indice 5.

$$\forall i \in [1; 5], \quad C_i = \frac{M_5}{M_i}$$

Soit $x_{k,i}$ l'achalandage du jour k de l'année scolaire i , l'achalandage dessaisonnalisé $X_{k,i}$ est calculé de la manière suivante :

$$\forall i \in [1; 5], \forall k \in \mathbb{N}, \quad X_{k,i} = x_{k,i} \times C_i$$

Les Figure 5-15, Figure 5-16, Figure 5-17 et Figure 5-18 montrent la forme des anciens et nouveaux profils de l'achalandage mensuel moyen pour les différents types d'utilisateurs.

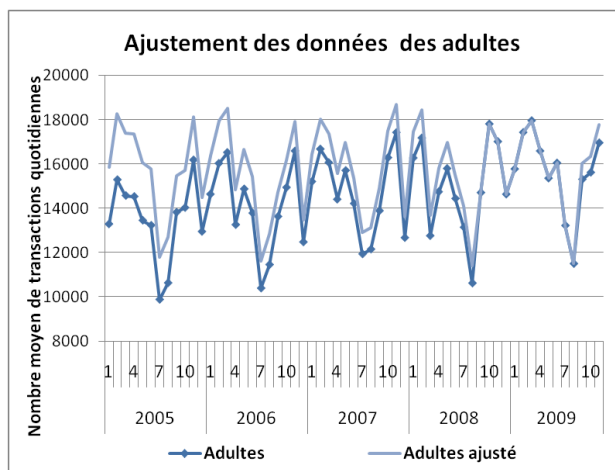


Figure 5-15 - Données ajustées pour l'année 2008-2009 chez les adultes

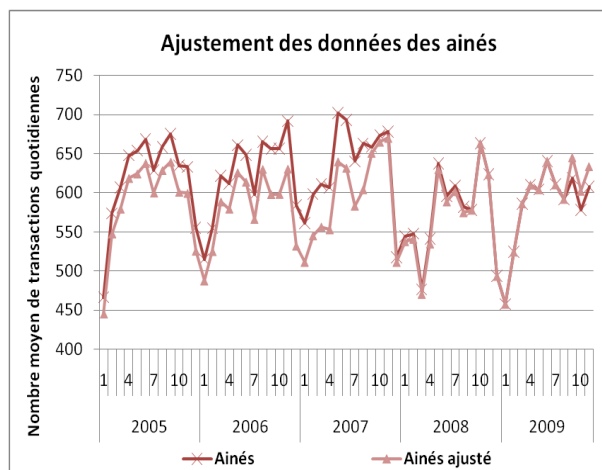


Figure 5-16 - Données ajustées pour l'année 2008-2009 chez les aînés

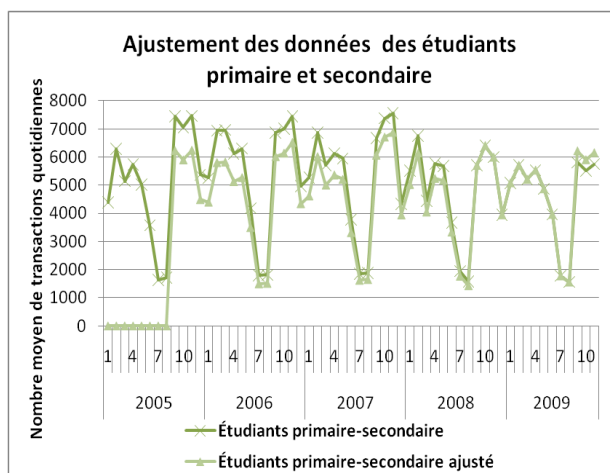


Figure 5-17 - Données ajustées pour l'année 2008-2009 chez les étudiants du primaire et secondaire

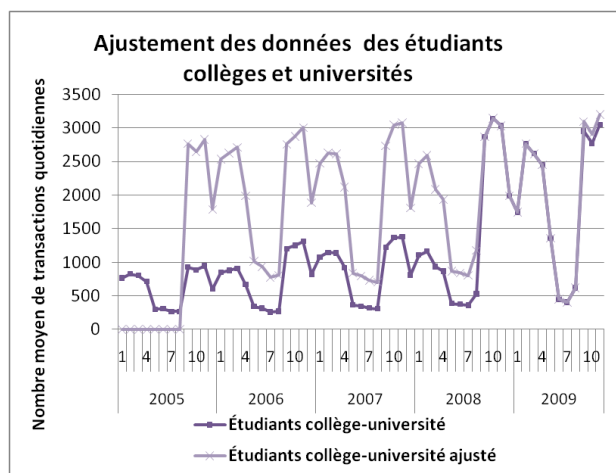


Figure 5-18 - Données ajustées pour l'année 2008-2009 chez les étudiants des collèges et universités

Bien que sur l'ensemble de la période d'étude, l'achalandage des aînés ne présente pas de tendance marquée, on réalise un ajustement pour supprimer la baisse du nombre de transactions survenant à partir de 2008.

5.3 Analyse selon des variables météorologiques binaires

Par cette première approche, on analyse les variations d'achalandage en fonction des différentes variables météorologiques selon le même principe que dans l'étude menée par Hofmann et O'Mahony (2005a). Ces deux auteurs ont considéré les variations d'achalandage en différenciant

les jours pluvieux des jours non pluvieux, fixant le seuil de pluviosité à 15 mm quotidien. Pour notre étude, on considèrera également des variables météorologiques prenant les valeurs « 0 ou 1 » selon le jour considéré mais en prenant également en compte le type d'utilisateur, les événements du calendrier et en considérant un seuil dynamique pour définir les variables binaires.

Lors de cette étude, certains jours ou périodes de données seront exclus volontairement du fait de leur achalandage particulier, non relié à la météo, en fonction du type d'utilisateur considéré. En effet, les variations propres aux jours fériés, aux vacances, aux périodes de fin de session ou autres anomalies pourraient induire en erreur en attribuant aux conditions météorologiques des variations d'achalandage qui n'y sont pas liées. La décision d'exclure ces périodes découle directement des études menées précédemment (voir Chapitre 4). Le Tableau 5-1 récapitule les exclusions des données présentant un achalandage particulier lié au calendrier.

Tableau 5-1 - Exclusions de données lors de l'approche binaire (N/A : Non Applicable)

Données	Adultes	Primaire-Secondaire	Collège-Université	Aînés
Jours fériés (Québec et Ontario)	Exclues	Exclues	Exclues	Exclues
Vacances	Exclues	Exclues	Exclues	N/A
Fin de session	N/A	Exclues	Exclues	N/A
Anomalie 2008	Exclues	Exclues	Exclues	Exclues
1^{er} Janvier 2004 au 31 Août 2005	Inclues	Exclues	Exclues	Inclues
Nombre de jours pris en compte	1586	981	771	2049
Pourcentage sur le nombre de jours total (2151 jours)	73,7%	45,6%	35,8%	95,3%

On constate que le nombre de jours écartés est assez important, surtout en ce qui concerne les étudiants mais le nombre de jour restant est suffisant pour réaliser les études. Un des inconvénients auquel on peut s'attendre est que, d'après les observations faites lors de la section 5.1 (page 116), de nombreux jours pluvieux ou jours présentant de très hautes températures ont lieu lors des vacances d'été qui sont supprimées des données pour les adultes et les étudiants. On est confronté au même problème pour les chutes de neige et les températures très basses des vacances de Noël et d'hiver.

5.3.1 Températures

Comme on a pu voir dans les exemples de la sous-section 5.1.1 (page 116), l'impact de la température n'est pas évident à visualiser sauf en distinguant le type d'utilisateurs. De plus, on peut penser que la température n'aura pas le même impact sur l'achalandage en fonction de la période de l'année, périodes définies dans la section 5.1.2 (page 120). En effet, lors de la période froide, on peut s'attendre à ce que l'achalandage diminue lorsque les températures sont plus froides que les normales saisonnières alors qu'au contraire, lors de la période chaude, les journées extrêmement chaudes pourraient impliquer une fréquentation plus faible.

Ainsi, on définit deux variables binaires, avec $T_{moymens}$ la température moyenne mensuelle calculée pour chaque mois de chaque année sur la période d'étude (voir Tableau D - 1 à l'ANNEXE E, page 181) :

- $TMOYBIN_{HIV}$ pour la période froide regroupant les mois de décembre, janvier, février et mars, les autres périodes étant exclues temporairement des données. Avec x le jour considéré et $T_{moy}(x)$ la température moyenne du jour x , on définit la variable binaire $TMOYBIN_{HIV}$ de la manière suivante:

$$\forall x, \quad TMOYBIN_{HIV}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } T_{moy}(x) < T_{moymens}(x) - 5^{\circ}\text{C} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

$T_{moymens}$ est calculée à partir des températures moyennes quotidiennes. La perception du froid ne peut être définie objectivement car elle repose sur un jugement personnel. Le choix de considérer $T_{moymens}(x) - 5^{\circ}\text{C}$ a été fait pour que les jours pour lesquels $TMOYBIN_{HIV}(x) = 1$ soient des journées pouvant être considérées froides.

- $TMOYBIN_{EST}$ pour la période chaude regroupant les mois de juin, juillet, août et septembre, les autres périodes étant exclues temporairement des données. Avec x le jour considéré et $T_{moy}(x)$ la température moyenne du jour x , on définit la variable binaire $TMOYBIN_{EST}$ de la manière suivante:

$$\forall x, \quad TMOYBIN_{EST}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } T_{moy}(x) > T_{moymens}(x) \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

Lors de la période estivale, T_{moyens} se situe entre 15 et 20°C. On considère qu'une journée dont la température moyenne dépasse 15°C peut être qualifiée de chaude ce qui explique la définition de $TMOYBIN_{EST}$.

Dans le Tableau 5-2 sont présentés, par jour de la semaine et par type d'usager, le nombre de jours pour lesquels la variable prend la valeur 1 (OUI) et le nombre de jours pour lesquels la variable prend la valeur 0 (NON). En effet, on calculera les moyennes quotidiennes d'achalandage sur ces différents types de jours afin de comparer les écarts de fréquentation entre jours « froids » (1) et jours « doux » (0) pendant la période hivernale et entre jours « doux » (0) et jours « chauds » (1) pendant la période estivale. Ainsi, plus la moyenne se basera sur un nombre important de jours, plus elle sera représentative de l'impact général de la température sur l'achalandage et donc plus la pertinence de l'analyse sera grande. En pratique, on essaiera de confirmer ou d'infirmer les résultats obtenus par l'approche binaire grâce aux deux approches suivantes, basées sur les catégories et sur les jours aux conditions « extrêmes ».

Tableau 5-2 - Répartition des jours selon la valeur de $TEMPBIN_{HIV}$ et $TEMPBIN_{EST}$

Nombre de jours	Adultes		Primaire- Secondaire		Collèges- Universités		Ainés	
PÉRIODE FROIDE								
Jour de la semaine	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI
Lundi	59	20	35	12	49	18	66	26
Mardi	70	12	43	6	57	12	78	17
Mercredi	69	13	39	9	58	11	78	19
Jeudi	60	21	36	12	51	17	69	26
Vendredi	67	13	43	6	53	14	78	18
Samedi	67	14	43	6	58	10	79	17
Dimanche	64	15	40	7	54	13	78	16
PÉRIODE CHAUDE								
Jour de la semaine	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI
Lundi	23	21	12	6	13	7	42	48
Mardi	25	26	13	10	13	12	46	57
Mercredi	26	25	11	11	11	13	52	51
Jeudi	29	21	11	11	12	11	54	49

Nombre de jours	Adultes		Primaire-Secondaire		Collèges-Universités		Aînés	
Vendredi	24	26	12	10	11	11	50	53
Samedi	26	23	12	9	11	10	50	52
Dimanche	27	24	15	6	13	7	57	47

La Figure 5-19 et la Figure 5-20 représentent les moyennes quotidiennes d'achalandage pour les adultes en fonction de la valeur prise par la variable binaire et par jour de semaine.

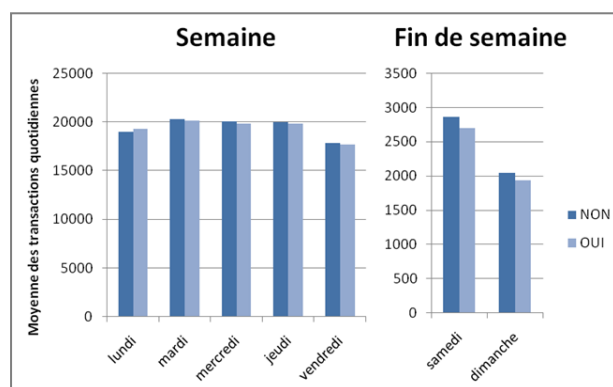


Figure 5-19 - Période froide : variable binaire de température pour les adultes

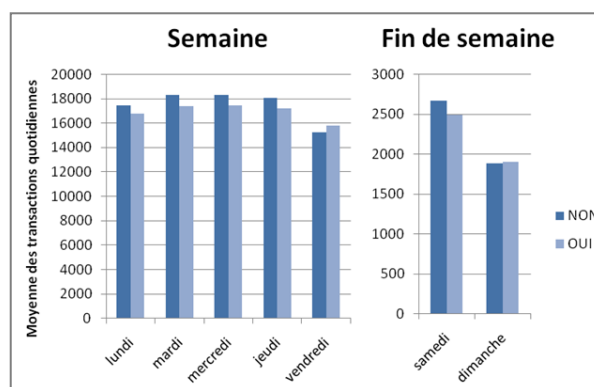


Figure 5-20 - Période chaude : variable binaire de température pour les adultes

Concernant la période froide, la fréquentation des adultes reste sensiblement la même pendant la semaine mais les températures froides semblent provoquer une légère baisse de l'achalandage lors de la fin de semaine. Pendant la période chaude, on constate une baisse de fréquentation d'environ 1 000 usagers en moyenne, exception faite du vendredi. Il n'est pas possible de conclure d'une baisse ou d'une augmentation d'achalandage lors des jours chauds la fin de semaine.

La Figure 5-21 et la Figure 5-22 représentent les moyennes quotidiennes d'achalandage pour les étudiants du primaire et secondaire en fonction de la valeur prise par la variable binaire et par jour de semaine.

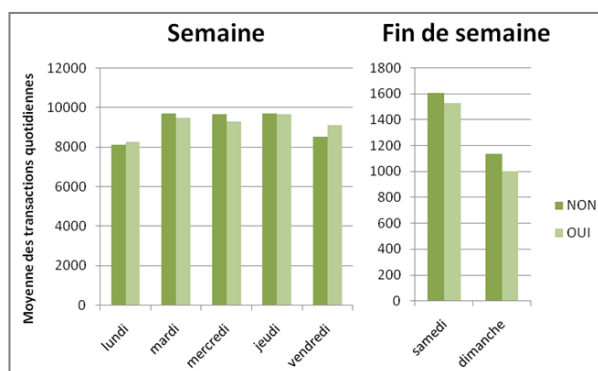


Figure 5-21 - Période froide : variable binaire de température pour les primaires-secondaires

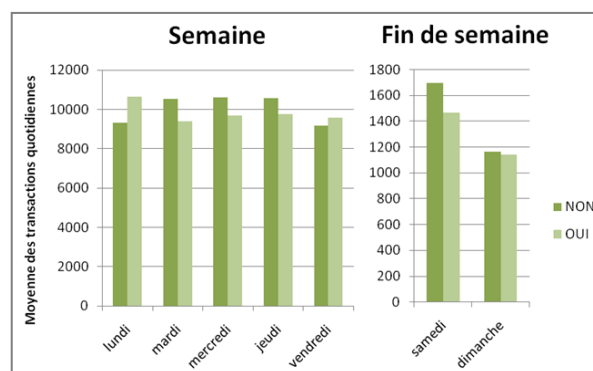


Figure 5-22 - Période chaude : variable binaire de température pour les primaires-secondaires

De nouveau, la température ne semble pas avoir d'impact sur la fréquentation en semaine lors de la période froide et implique une baisse pendant la fin de semaine. Pendant la période estivale, on observe une baisse pour la plupart des jours de la semaine sauf le lundi et le vendredi. Cependant, en consultant le Tableau 5-2, on peut constater que le nombre de jours considérés dans les moyennes est assez faible du fait des nombreuses périodes de vacances des étudiants. Les résultats ne sont donc pas forcément représentatifs de la réalité. La Figure 5-23 et la Figure 5-24 représentent le même type de graphique pour les vacances des étudiants du primaire et secondaire.

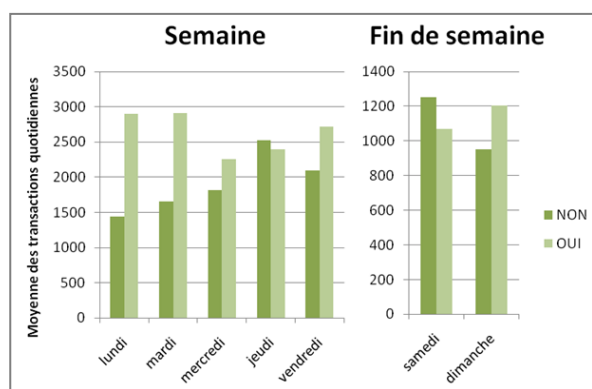


Figure 5-23 - Vacances de Noël et d'hiver : variable binaire de température pour les primaires-secondaires

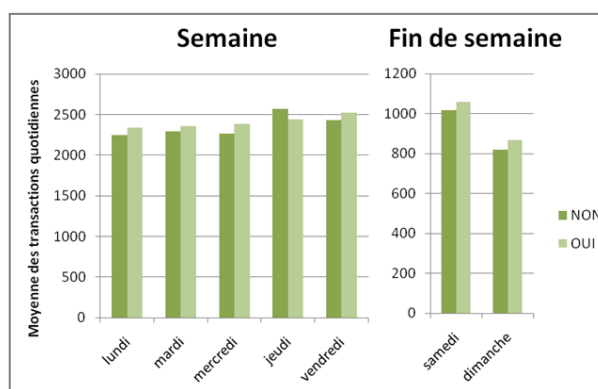


Figure 5-24 - Vacances d'été : variable binaire de température pour les primaires-secondaires

Contrairement à ce qu'on a pu observer hors périodes de vacances, l'achalandage semble être plus important lors des journées froides pour période hivernale et légèrement supérieur lors des journées chaudes pendant la période estivale.

La Figure 5-25 et la Figure 5-26 représentent les moyennes quotidiennes d'achalandage pour les étudiants des collèges et universités en fonction de la valeur prise par la variable binaire et par jour de semaine et la Figure 5-27 et la Figure 5-28 concernent les vacances de Noël et les vacances d'été respectivement.

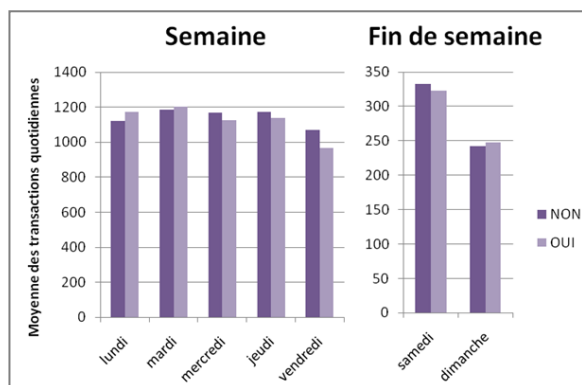


Figure 5-25 - Période froide : variable binaire de température pour les collèges-universités

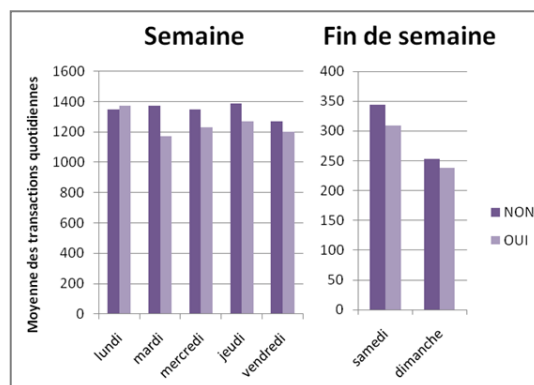


Figure 5-26 - Période chaude : variable binaire de température pour les collèges-universités

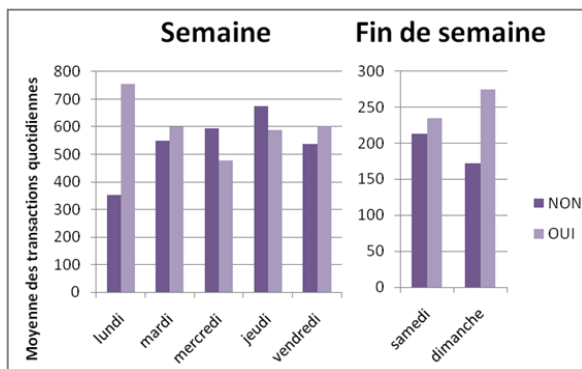


Figure 5-27 - Vacances de Noël : variable binaire de température pour les collèges-universités

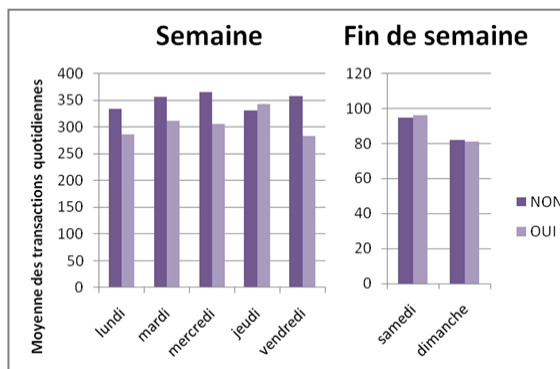


Figure 5-28 - Vacances d'été : variable binaire de température pour les collèges-universités

Les résultats paraissent plus probants en ce qui concerne la période chaude pour laquelle l'achalandage a tendance à être plus faible lors des journées chaudes, autant en période de travail qu'en période de vacances. Par contre, il n'est pas possible de conclure quant à l'impact des températures froides à partir des variables binaires pour cette classe d'étudiants.

Enfin, la Figure 5-29 et la Figure 5-30 représentent les moyennes quotidiennes d'achalandage pour les aînés en fonction de la valeur prise par la variable binaire et par jour de semaine.

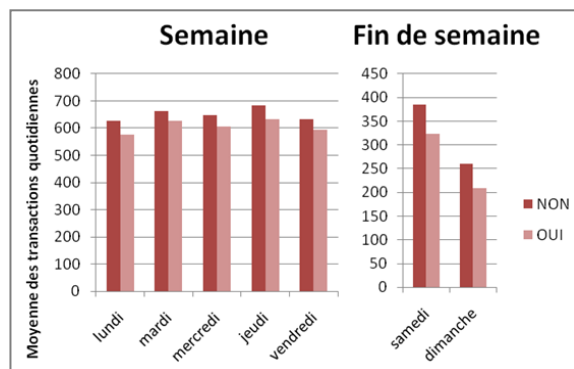


Figure 5-29 - Période froide : variable binaire de température pour les aînés

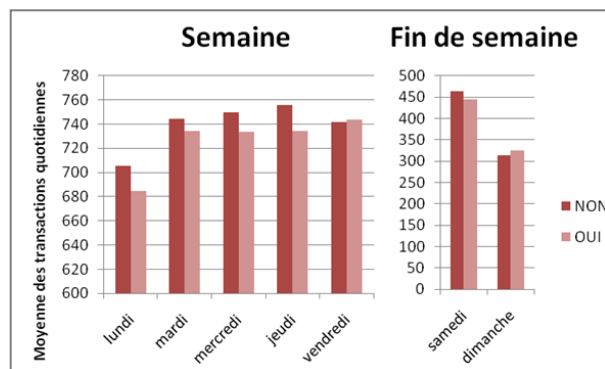


Figure 5-30 - Période chaude : variable binaire de température pour les aînés

Lors de la période froide, les températures très basses semblent provoquer une baisse d'achalandage chez les aînés quel que soit le jour de la semaine considéré. En ce qui concerne la période froide, l'achalandage quotidien est également à la baisse pour la plupart des jours de la semaine mais selon des proportions plus faibles que lors de la période froide.

Ainsi, il apparaît être assez difficile de conclure sur l'influence de la température sur l'achalandage à partir des variables binaires, principalement en ce qui concerne les étudiants. Les résultats sont les plus convaincants dans le cas des aînés.

5.3.2 Pluie

Pour chaque mois de chaque année sur la période d'étude, on a calculé la pluviosité moyenne mensuelle sur les jours où il a plu, notée $P_{moymens}$ (voir Tableau D - 1 à l'ANNEXE E, page 181). Avec x le jour considéré et $P(x)$ la pluviosité du jour x , on définit la variable binaire $PLUIEBIN$ de la manière suivante:

$$PLUIEBIN(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } P(x) > 0,5 \times P_{moymens}(x) \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

$P_{moymens}$ est calculée à partir des jours pluvieux du mois considéré. À la Figure 5-10 (page 123), on avait pu constater que la pluviosité pouvait atteindre des valeurs plus ou moins importantes.

On a choisit d'appliquer un facteur 0,5 lors de la définition de *PLUIEBIN* pour classer pluvieuses les journées dont la pluviosité dépasse la moitié de la moyenne mensuelle.

Le Tableau 5-3 donne le nombre de jours considérés pluvieux et non pluvieux selon la définition de la variable *PLUIEBIN*. La période froide est exclue pour l'étude de la pluviosité car l'essentiel des jours pluvieux ont lieu lors des périodes de transition et de la période chaude. De plus, lors de la période froide, la neige peut influencer l'achalandage ce qui aurait pour conséquence de fausser les résultats.

Tableau 5-3 - Répartition des jours selon la valeur de PLUIEBIN

Nombre de jours	Adultes		Primaire-Secondaire		Collèges-Universités		Aînés	
	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI
Lundi	100	29	58	21	44	15	137	38
Mardi	111	39	71	24	43	21	154	48
Mercredi	118	32	74	22	50	15	160	42
Jeudi	113	36	74	22	53	12	156	46
Vendredi	113	32	67	24	45	16	152	46
Samedi	103	45	64	29	46	16	146	55
Dimanche	122	29	77	17	53	10	166	38

La Figure 5-31, la Figure 5-32 et la Figure 5-33 représentent les moyennes quotidiennes d'achalandage en fonction de la valeur prise par la variable binaire et par jour de semaine pour les adultes, les étudiants du primaire et secondaire et les étudiants des collèges et universités respectivement.

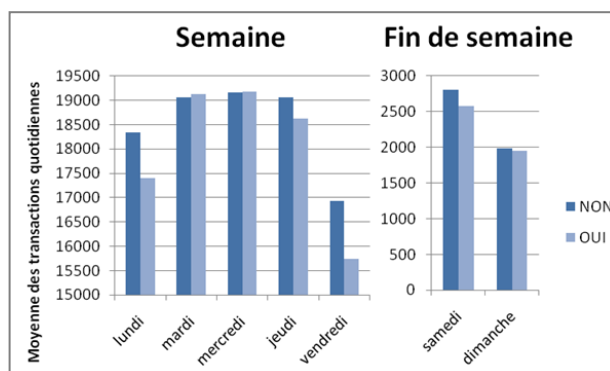


Figure 5-31 - Variable binaire concernant la pluviosité pour les adultes

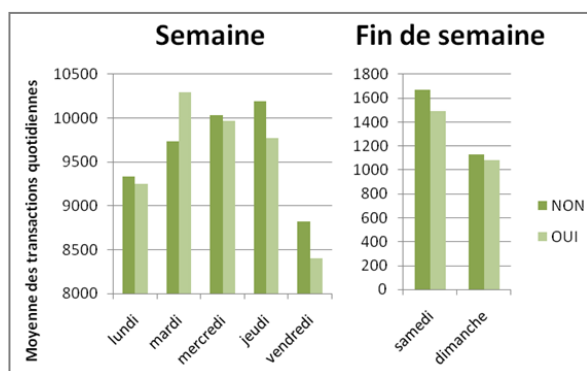


Figure 5-32 - Variable binaire concernant la pluviosité pour les primaires-secondaires

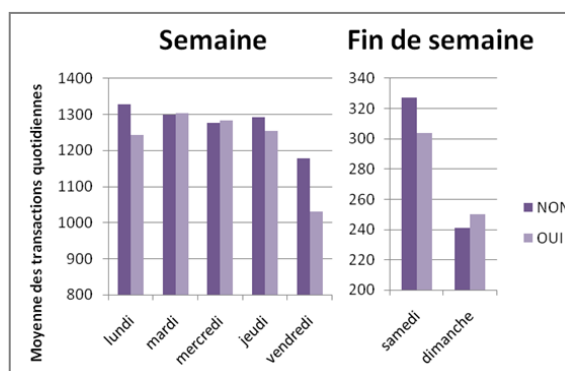


Figure 5-33 - Variable binaire concernant la pluviosité pour les collèges-universités

Au vu des graphiques, l'approche binaire permet difficilement de conclure sur l'impact de la pluie sur les déplacements des adultes et des étudiants lors des jours de semaine. En effet, chez les adultes, la pluviosité a tendance à provoquer une baisse d'achalandage pouvant dépasser 500 usagers quotidiens, mais le mardi, mercredi et dimanche ne présentent pas cette tendance. On peut penser que cela est fortement lié à l'intensité de la pluie considérée ainsi que le jour de la semaine durant lequel elle a eu lieu. Concernant les étudiants, les variations observées ne permettent pas de statuer sur l'impact de la pluviosité sur ce type d'utilisateur. On peut de plus remarquer que le nombre de jours pluvieux considérés pour les étudiants est bien plus faible que pour les adultes et les aînés. Pour ce qui est des aînés, la Figure 5-34 représente les moyennes quotidiennes des jours pluvieux et non pluvieux.

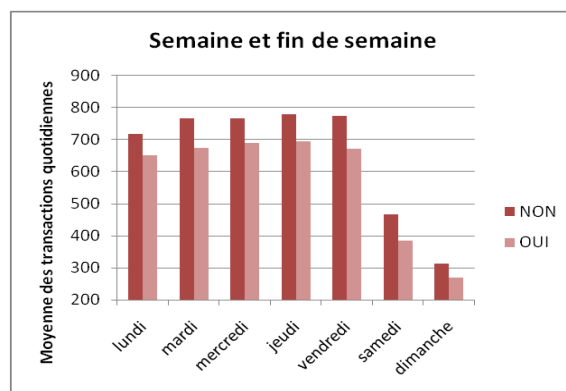


Figure 5-34 - Variable binaire concernant la pluviosité pour les aînés

Pour ce type d'utilisateur, on constate des variations d'achalandage nettes quel que soit le jour de la semaine, ce qui permet de conclure que la fréquentation des aînés est influencée par la pluviosité.

En effet, d'après le graphique, un jour pluvieux implique une baisse d'achalandage d'environ 15% comparativement à un jour non pluvieux pour les aînés.

5.3.3 Neige

Pour finir cette section sur l'approche binaire, on étudie l'impact des chutes de neige sur les différents types d'utilisateurs.

Pour chaque mois de chaque année sur la période d'étude, on a calculé la quantité moyenne mensuelle de neige tombée sur les jours où il a neigé, notée $N_{moymens}$ (voir Tableau D - 1 à l'ANNEXE E, page 181). Avec x le jour considéré et $N(x)$ la quantité de neige tombée ce jour x , on définit la variable binaire *NEIGEBIN* de la manière suivante:

$$NEIGEBIN(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } N(x) > 0,5 \times N_{moymens}(x) \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

Pour les mêmes raisons que pour la pluie, on a fait le choix d'appliquer un facteur 0,5 à $N_{moymens}$ dans la définition de *NEIGEBIN*.

Le Tableau 5-4 donne le nombre de jours considérés neigeux et non neigeux selon la définition de la variable *NEIGEBIN*. La période chaude est exclue pour l'étude de l'impact des chutes de neige car tous les jours neigeux ont lieu lors des périodes de transition et de la période froide.

Tableau 5-4 - Répartition des jours selon la valeur de *NEIGEBIN*

Nombre de jours	Adultes		Primaire-Secondaire		Collèges-Universités		Aînés	
	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI
Lundi	143	21	96	12	78	11	154	23
Mardi	156	25	104	17	76	15	168	26
Mercredi	156	25	107	15	77	15	167	29
Jeudi	161	19	107	15	80	13	172	22
Vendredi	144	31	97	21	70	20	156	35
Samedi	160	20	109	12	80	12	173	22
Dimanche	157	22	109	11	82	11	168	26

La Figure 5-35, la Figure 5-36 et la Figure 5-37 représentent les moyennes quotidiennes d'achalandage en fonction de la valeur prise par la variable binaire et par jour de semaine pour

les adultes, les étudiants du primaire et secondaire et les étudiants des collèges et universités respectivement.

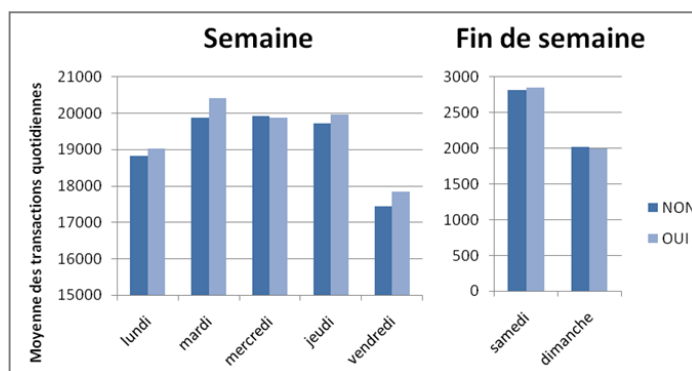


Figure 5-35 - Variable binaire concernant la neige pour les adultes

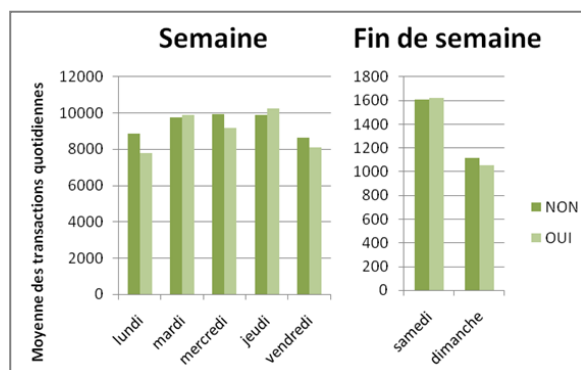


Figure 5-36 - Variable binaire concernant la neige pour les primaires-secondaires

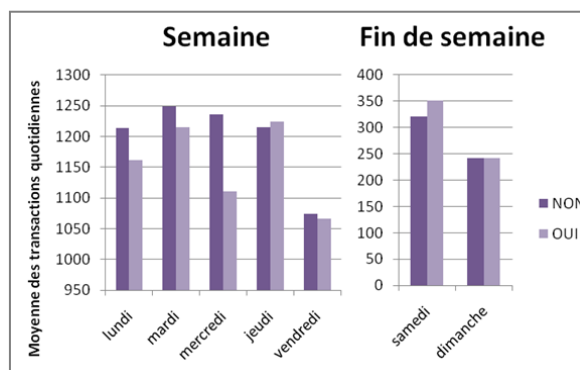


Figure 5-37 - Variable binaire concernant la neige pour les collèges-universités

Comme précédemment dans le cas de la pluviosité, l'approche binaire ne semble pas suffisante pour apporter des conclusions claires quant à l'impact des chutes de neige sur l'achalandage quotidien moyen des adultes et des étudiants. Au vu des graphiques, concernant les adultes, la neige semble provoquer une légère augmentation de fréquentation alors que pour les étudiants, elle aurait tendance à faire diminuer l'achalandage. Ces observations sont à confirmer ou à infirmer avec les approches qui suivent. Par contre, d'après la Figure 5-38, on peut conclure que la neige a un impact certain sur la fréquentation des aînés, provoquant une baisse d'achalandage de 10 à 20% en moyenne quel que soit le jour de la semaine.

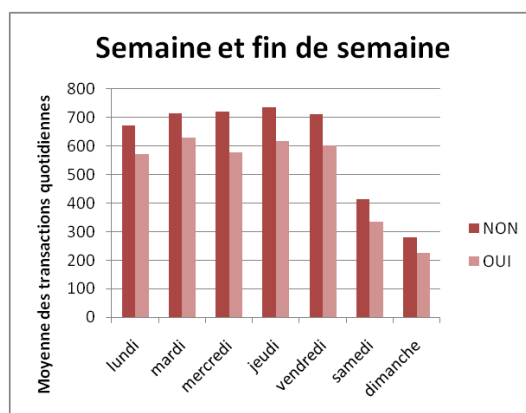


Figure 5-38 - Variable binaire concernant la neige pour les aînés

5.3.1 Conclusion de l'approche binaire

Dans l'ensemble, les résultats de la méthode binaire ne sont pas très convaincants, non seulement à cause des variations observées qui ne sont pas toujours interprétables mais aussi en termes de pertinence par rapport au nombre jour considéré dans les moyennes d'achalandage. Les aînés sont le seul type d'utilisateurs à présenter des variations tangibles et cohérentes exception faite des températures pendant la période chaude. Concernant les températures froides lors de la période froide, la pluie et la neige, l'achalandage des aînés présente des baisses d'achalandage clairement identifiables sur l'ensemble des jours de la semaine.

Si cette première approche ne permet pas de formuler de conclusions concernant les adultes et les étudiants, il est possible que ce soit dû au fait que l'on n'ait pas pris en compte l'intensité des conditions météorologiques. En effet, en définissant les variables binaires avec un seuil basé sur les moyennes mensuelles, on a comparé les achalandages des journées situées de part et d'autre de ce seuil. Dans la seconde approche présentée à la suite, on effectue une étude dans laquelle on définit des catégories permettant de prendre en compte l'intensité des conditions météorologiques et ainsi de déterminer l'éventuelle évolution de l'achalandage entre les différentes catégories.

5.4 Analyse de l'achalandage selon des variables météorologiques catégorisées

Dans l'approche précédente, on a pu voir que les variables binaires ne sont pas vraiment suffisantes pour mettre en évidence l'influence des variables météorologiques sur l'achalandage

des adultes et des étudiants. Lors de l'approche basée sur la définition de catégories présentée à la suite, on prend en compte l'intensité du phénomène météorologique. De cette manière, il est possible que l'on soit capable d'observer des variations d'achalandage différentes selon les catégories.

Dans cette nouvelle étude, les étudiants du primaire et secondaire ainsi que ceux des collèges et universités ont été réunis pour former le type d'utilisateur « Étudiants ». Les exclusions de données pour les différents types d'utilisateur sont les mêmes que lors de l'approche binaire (voir Tableau 5-1, page 130), le type d'utilisateur « Étudiants » regroupant les exclusions des deux types de titre étudiants.

5.4.1 Températures

Avec x le jour considéré et $T_{moy}(x)$ la température moyenne du jour x , on définit la variable $TMOYCAT$ de la manière suivante:

$$\forall x, \quad TMOYCAT(x) = \begin{cases} -3 \text{ si } T_{moy}(x) < -15^{\circ}C \\ -2 \text{ si } -15^{\circ}C \leq T_{moy}(x) < -10^{\circ}C \\ -1 \text{ si } -10^{\circ}C \leq T_{moy}(x) < -5^{\circ}C \\ 0 \text{ si } -5^{\circ}C \leq T_{moy}(x) < 5^{\circ}C \\ 1 \text{ si } 5^{\circ}C \leq T_{moy}(x) < 10^{\circ}C \\ 2 \text{ si } 10^{\circ}C \leq T_{moy}(x) < 15^{\circ}C \\ 3 \text{ si } 15^{\circ}C \leq T_{moy}(x) < 20^{\circ}C \\ 4 \text{ si } 20^{\circ}C \leq T_{moy}(x) \end{cases}$$

Le Tableau 2-1 donne le nombre de jours faisant partie de chaque catégorie pour les trois types d'utilisateurs. Pour les étudiants, un grand nombre de jours de données sont exclus du fait des vacances et des périodes de fin de session. Les jours les plus froids, de la catégorie -3, et les jours les plus chauds, de la catégorie 4, font partie de ces périodes d'exclusion donc ne sont pas pris en considération pour ce type d'utilisateurs.

Tableau 5-5 - Répartition des jours selon la valeur de la variable TMOYCAT

Nombre de jours	Adultes		Étudiants		Aînés	
	TMOYCAT	Semaine	WE	Semaine	WE	Semaine
-3		20	7	0	0	21
-2		61	23	35	13	62
-1		218	90	127	52	262
0		225	85	153	59	250
1		209	92	101	45	209
2		188	77	59	23	189
3		184	72	56	20	334
4		22	13	0	0	127

La Figure 5-39 et la Figure 5-40 représentent l'achalandage moyen quotidien par catégories de températures moyennes pour les adultes et les étudiants respectivement.

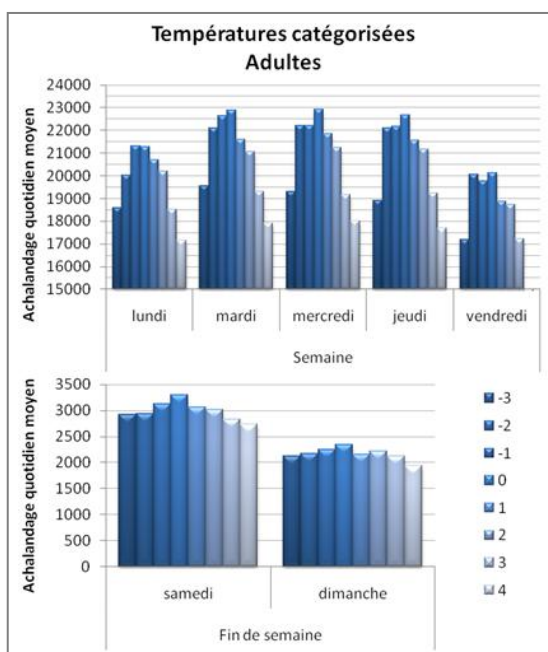


Figure 5-39 - TMOYCAT pour les adultes

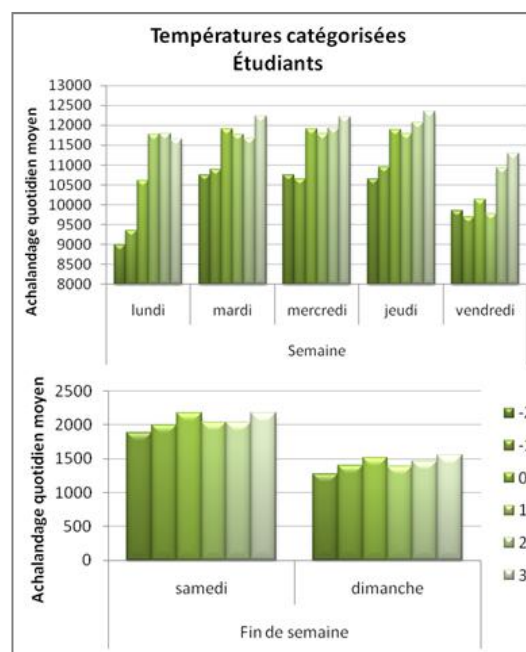


Figure 5-40 - TMOYCAT pour les étudiants

La première chose intéressante à remarquer est que les variations ne sont pas les mêmes entre adultes et étudiants. En effet, concernant les adultes, on observe un maximum d'achalandage quotidien pour les jours de catégorie 0 et la fréquentation décroît avec l'augmentation et la diminution de la température, soit de part et d'autre de cette catégorie médiane. On peut

également constater que l'achalandage diminue dans des proportions plus élevées lors des jours très chauds. En semaine, l'achalandage peut chuter de plus de 5 000 transactions quotidiennes pour les jours de catégorie 4 comparativement à la catégorie 0 et de quelques 4 000 transactions quotidiennes entre la catégorie 0 et la catégorie -3. On observe le même profil de variations lors de la fin de semaine, bien que les écarts entre les catégories soient moins élevés. La baisse d'achalandage lors des températures froides est sans doute occasionnée par l'inconfort des temps de marche et des temps d'attente qui peut pousser à utiliser un moyen de transport alternatif ou à reporter l'activité prévue lorsque cela est possible. Lors des journées chaudes, la baisse d'achalandage est peut-être aussi causée par l'inconfort des transports par temps chaud mais également du fait que les usagers n'ayant pas de gros trajets à faire préfèrent effectuer leur trajet à pied ou à vélo par exemple. Chez les étudiants, l'achalandage quotidien est le plus important pour les températures chaudes et décroît avec la diminution des températures. La période de vacances d'été des étudiants étant plus longue que pour les adultes, aucun jour de catégorie 4 n'est pris en compte. La Figure 5-41 donne l'achalandage quotidien moyen des étudiants pendant les vacances scolaires.

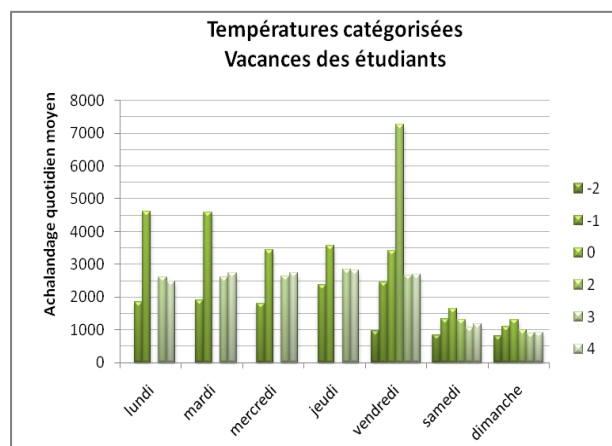


Figure 5-41 – TMOYCAT pendant les vacances des étudiants

Tableau 5-6 – Répartition des jours par catégories pendant les vacances des étudiants

Nombre de jours	Catégorie de température					
Jour de la semaine	-2	-1	0	2	3	4
Lundi	0	5	1	0	25	9
Mardi	0	5	1	0	30	8
Mercredi	0	6	2	0	29	9
Jeudi	0	5	2	0	31	9
Vendredi	1	5	2	1	31	8
Samedi	1	6	2	1	30	8
Dimanche	1	5	2	1	30	9

On peut alors constater que la fréquentation des étudiants a également tendance à diminuer pendant les journées très chaudes comparativement aux journées plus douces de catégorie 0 et 2.

Enfin, le comportement des aînés par rapport aux températures moyennes est représenté par la Figure 5-42 et la Figure 5-43.

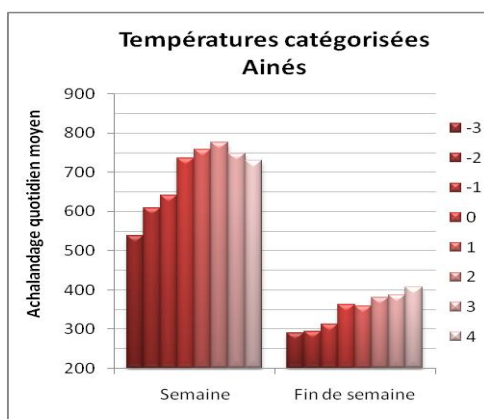


Figure 5-42 - TMOYCAT pour les aînés

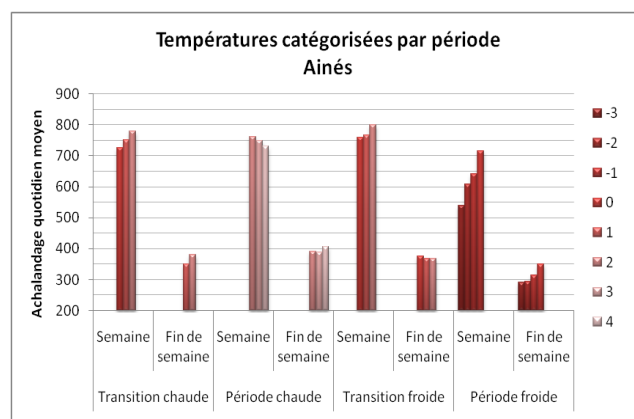


Figure 5-43 - TMOYCAT pour les aînés par période

On a pu constater lors de l'approche binaire, que les aînés étaient sans doute les usagers les plus impactés par la météo du fait de leur plus grande sensibilité aux conditions défavorables et à leur emploi du temps plus flexible. La Figure 5-42 montre que la fréquentation des aînés diminue franchement à partir des températures moyennes inférieures à -5°C pendant la semaine et une légère tendance à la baisse lors des journées chaudes, toujours en ce qui concerne la semaine. La Figure 5-43 représente les variations par périodes de températures telles que définies lors de la section 5.1.2 (page 120). Les variations de l'achalandage moyen quotidien sont très légères pendant les périodes de transition, inférieures à 100 transactions quotidiennes, de même que pendant la période chaude. Pendant la période froide, l'évolution est beaucoup plus marquée avec une forte tendance à la baisse à mesure que la température moyenne diminue.

5.4.2 Pluie

Avec x le jour considéré et $P(x)$ la pluviosité du jour x , on définit la variable *PLUIECAT* de la manière suivante:

$$\forall x, \quad \text{PLUIECAT}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } P(x) = 0\text{mm} \\ 1 & \text{si } 0\text{mm} < P(x) \leq 5\text{mm} \\ 2 & \text{si } 5\text{mm} < P(x) \leq 10\text{mm} \\ 3 & \text{si } 10\text{mm} < P(x) \leq 20\text{mm} \\ 4 & \text{si } 20\text{mm} < P(x) \leq 25\text{mm} \\ 5 & \text{si } 25\text{mm} < P(x) \end{cases}$$

Le Tableau 5-7 donne le nombre de jours faisant partie de chaque catégorie pour les trois types d'usagers. La période froide est exclue des données pour l'étude de la pluie afin de ne pas

confondre l'impact de la neige ou des températures très basses avec celui de la pluie. De plus, comme l'été est la période où la pluviosité est la plus importante, le nombre de jours de catégorie 4 et 5 pour les étudiants est faible du fait de la période de vacances.

Tableau 5-7 - Répartition des jours selon la valeur de la variable PLUIECAT

Nombre de jours PLUIECAT	Adultes		Étudiants		Aînés	
	Semaine	WE	Semaine	WE	Semaine	WE
0	407	164	174	76	554	229
1	196	83	83	27	258	104
2	58	23	26	10	76	32
3	43	21	22	10	59	26
4	8	3	4	1	13	4
5	11	5	5	1	19	10

La Figure 5-44 et la Figure 5-45 représente l'évolution de l'achalandage moyen quotidien par catégorie de pluviosité pour les adultes et les étudiants respectivement.

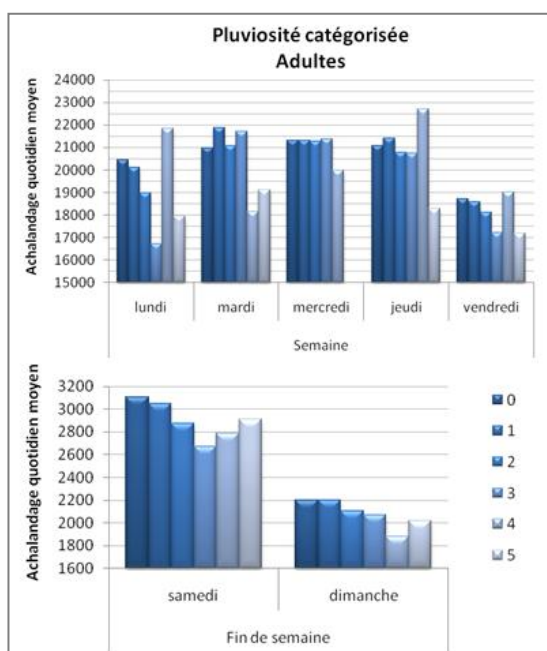


Figure 5-44 - PLUIECAT pour les adultes

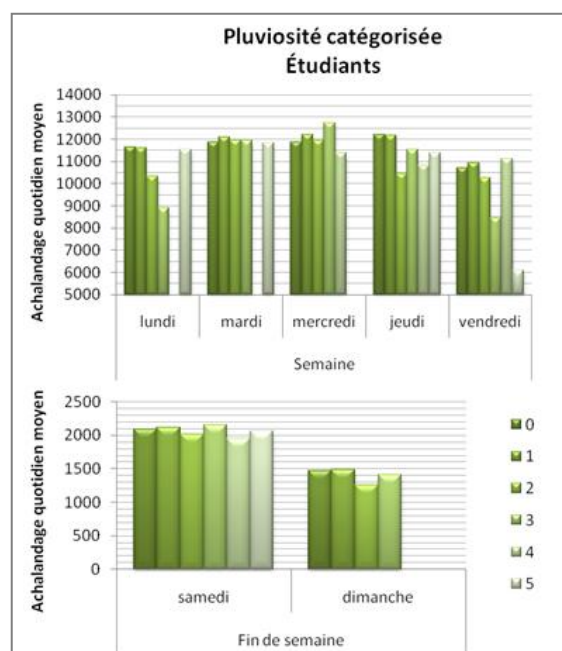


Figure 5-45 - PLUIECAT pour les étudiants

Au vu des graphiques, on ne parvient à identifier aucune tendance marquée liée à l'impact de la pluie au cours de la semaine, autant pour les adultes que pour les étudiants. On peut seulement

constater que dans le cas des adultes, les pluies très importantes, principalement de catégorie 5, impliquent que l'achalandage quotidien moyen est plus faible que pour les autres catégories

La Figure 5-46 présente les résultats pour les aînés. La tendance à la baisse de la fréquentation avec l'augmentation de la pluviosité est clairement visible autant en semaine que lors de la fin de semaine. Les jours de catégorie 5 pour la pluie entraînent une diminution moyenne d'environ 20% par rapport aux jours où la pluviosité est nulle.

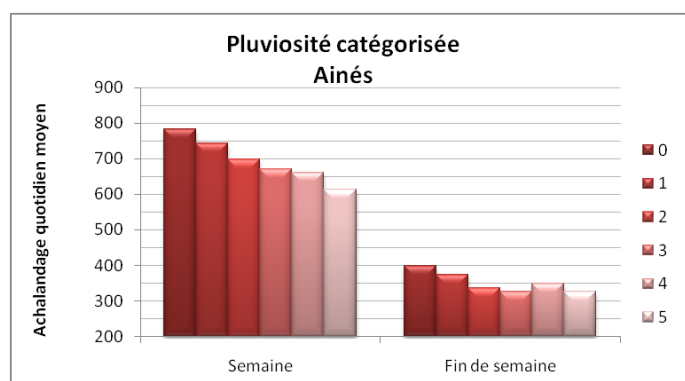


Figure 5-46 - PLUIECAT pour les aînés

5.4.3 Neige

Avec x le jour considéré et $N(x)$ la quantité de neige tombée le jour x , on définit la variable *NEIGECAT* de la manière suivante:

$$\forall x, \quad NEIGECAT(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } N(x) = 0\text{cm} \\ 1 & \text{si } 0\text{cm} < N(x) \leq 3\text{cm} \\ 2 & \text{si } 3\text{cm} < N(x) \leq 5\text{cm} \\ 3 & \text{si } 5\text{cm} < N(x) \leq 8\text{cm} \\ 4 & \text{si } 8\text{cm} < N(x) \leq 10\text{cm} \\ 5 & \text{si } 10\text{cm} < N(x) \leq 15\text{cm} \\ 6 & \text{si } 15\text{cm} < N(x) \end{cases}$$

Le Tableau 5-8 donne la répartition des jours considérés par type d'usager et par catégorie. Dans ces données, seule la période froide a été prise en compte. On peut constater que pour les catégories supérieures à 4, soit pour les jours où il est tombé plus de 8 cm de pluie, le nombre de jours pris en compte est faible, principalement en ce qui concerne les adultes et les étudiants, ce

qui peut amener à se poser des questions quant à la pertinence des comparaisons entre les différentes catégories.

Tableau 5-8 - Répartition des jours selon la valeur de la variable NEIGECAT

Nombre de jours NEIGECAT	Adultes		Étudiants		Aînés	
	Semaine	WE	Semaine	WE	Semaine	WE
0	667	281	300	129	713	298
1	132	49	86	32	142	56
2	27	11	18	8	32	13
3	27	8	14	5	32	10
4	8	4	6	0	9	5
5	12	4	6	2	15	4
6	8	2	5	1	9	3

La Figure 5-47 et la Figure 5-48 représentent les moyennes d'achalandage quotidiennes pour les différentes catégories de chutes de neige pour les adultes et les étudiants respectivement.

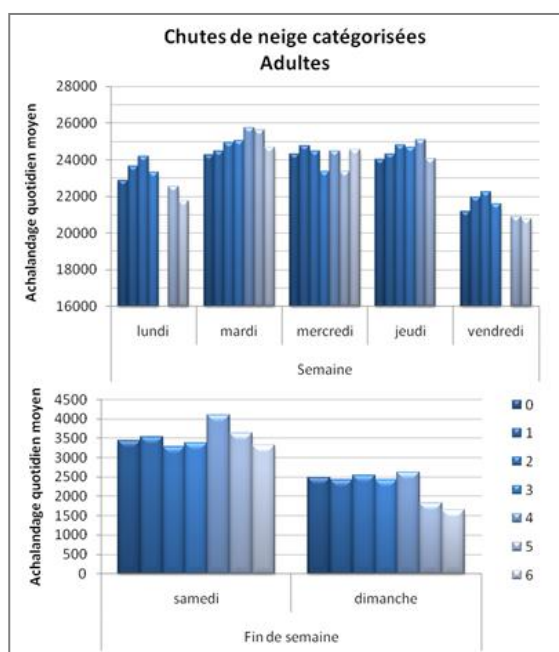


Figure 5-47 - NEIGECAT pour les adultes

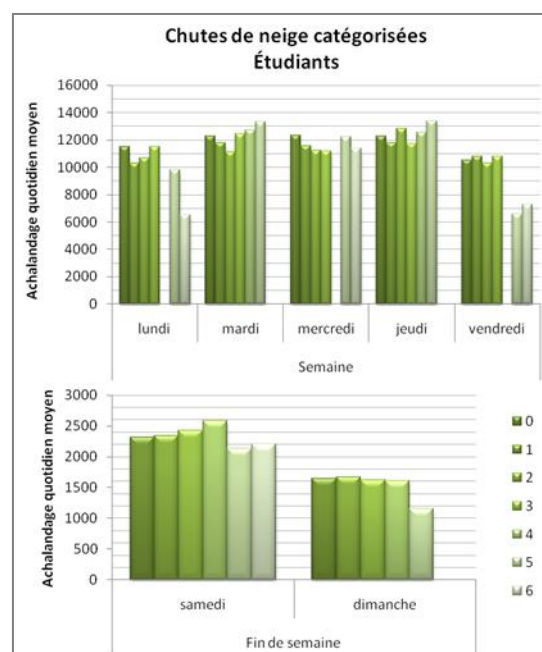


Figure 5-48 - NEIGECAT pour les étudiants

Il est intéressant de remarquer que pendant la semaine, l'achalandage quotidien moyen des adultes semble avoir tendance à légèrement augmenter, de 2 000 à 3 000 transactions quotidiennes en moyenne, à mesure que l'importance de la chute de neige augmente puis à diminuer pour les catégories les plus élevées. Concernant les étudiants, il n'est pas possible d'identifier de variations claires par rapport aux chutes de neige. La fin de semaine, l'achalandage semble diminuer à partir des catégories 4 ou 5 correspondant aux fortes chutes de neige.

Enfin, la Figure 5-49 représente l'évolution de l'achalandage quotidien moyen des aînés par catégories de chutes de neige. Comme dans le cas de la pluviosité, la tendance à la baisse avec l'augmentation de l'importance des chutes de neige est parfaitement visible pour ce type de titre.

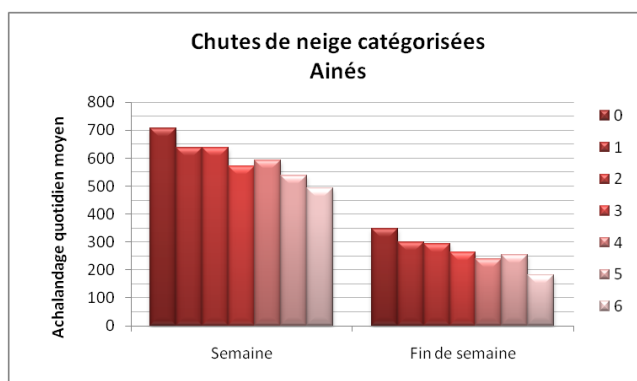


Figure 5-49 - NEIGECAT pour les aînés

5.4.1 Conclusion de l'approche par catégories

Suite à la méthode binaire qui n'avait pas fourni de conclusions claires, l'approche par catégories a permis de réaliser une étude plus poussée de l'impact des phénomènes météorologiques sur les différents types d'utilisateurs en considérant l'intensité de ces phénomènes. Cependant, cela reste difficile d'apporter des conclusions définitives du fait des irrégularités fréquentes des variations sur la semaine pour les adultes et les étudiants et également par rapport au nombre de jours pris en compte dans les moyennes. Comme pour l'approche binaire, la méthode semble bien fonctionner sur l'achalandage des aînés car on obtient des variations nettes et régulières. Ainsi, la fréquentation de ce type d'utilisateur diminue à mesure que l'ampleur de la chute de pluie ou de neige augmente. Concernant les températures moyennes, l'achalandage des aînés semble à la hausse à mesure que la température augmente, avec une possibilité de légère diminution lors des

journées très chaudes. La fréquentation des adultes semble diminuer de part et d'autre des températures médianes alors que celle des étudiants ne ferait qu'augmenter avec l'augmentation des températures moyennes. Pour ces deux types de titres, on ne peut pas vraiment formuler de conclusions quant à la pluie et le neige avec cette deuxième méthode mais on compte sur la troisième et dernière approche pour mettre en évidence et quantifier l'impact de ces deux variables.

5.5 Analyse de l'achalandage des jours remarquables

Les deux approches précédentes étaient destinées à quantifier l'influence générale de la météo sur l'achalandage. On a pu voir que, malgré quelques difficultés, l'ampleur des variations d'achalandage dépend généralement de l'intensité des phénomènes météorologiques. Ainsi, dans cette dernière approche, on se concentre sur les jours ayant présenté les chutes de pluie et de neige les plus importantes sur la période d'étude. À chacun de ces jours, qualifiés de « critiques », on attribue un « jour de référence » présentant des conditions météorologiques « normales ».

Le choix des jours de référence est réalisé sur des critères météorologiques et sur des critères liés au calendrier. Par rapport à la météorologie, les jours de référence sont choisis de manière à ce que les températures soient dans les normales saisonnières et que les précipitations soient nulles ou très faibles. Au niveau du calendrier, on prend un jour de référence pendant le même mois que le jour critique lorsque c'est possible. Si le jour critique fait partie d'une période de vacances, on choisit le jour de référence au cours de cette même période. Aucun des jours critiques considéré n'est un jour férié. Enfin, dans la mesure du possible, le jour de référence est le même jour de la semaine que le jour critique, principalement pour les jours de fin de semaine. Sinon, d'après la normalité des déplacements quant aux jours de la semaine (voir section 4.2, page 82), on peut comparer entre eux les lundis avec les vendredis, de même que les mardis, mercredis et jeudis sont comparables entre eux.

Par la suite, pour la pluie et la neige, on compare l'achalandage de chaque jour critique avec l'achalandage de son jour de référence en distinguant le type d'usager. On note A l'achalandage, n le nombre de jours critiques pour la variable météo considérée, x_k le jour critique portant le

numéro k , $x_{k,réf}$ le jour de référence associé à x_k et ϵ l'indicateur donnant les variations d'achalandage en pourcentage. On formule le calcul de ϵ de la manière suivante :

$$\forall k \in [1; n], \quad \epsilon(x_k) = \frac{A(x_k) - A(x_{k,réf})}{A(x_{k,réf})} \times 100$$

Pour les deux variables météorologiques, on a calculé les variations sur l'ensemble des jours critiques et sur les trois ou quatre jours présentant les précipitations les plus importantes, qualifiés de jours « extrêmes ». Les variations E en pourcentage sur l'ensemble des jours critiques sont calculées grâce à des moyennes pondérées, à partir des indicateurs ϵ , de la manière suivante :

$$\forall k \in [1; n], \quad E = \frac{\sum_k \epsilon(x_k) \times A(x_k)}{\sum_k A(x_k)} \times 100$$

5.5.1 Pluie

En ce qui concerne la pluie, les jours critiques sont les jours pour lesquels la pluviosité a dépassé 35 mm. Le Tableau 5-9 rassemble les jours critiques et les jours de référence qui leur sont associés.

Tableau 5-9 - Jours critiques et jours de référence pour la pluviosité

N°	Jour critique					Jour de référence				
	Date	Jour de la semaine	Temp. Moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Date	Jour de la semaine	Temp. Moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)
1	2004-08-10	Mardi	20,9	67	0	2004-08-17	Mardi	19,2	0	0
2	2004-09-09	Jeudi	13,3	135,4	0	2004-09-21	Mardi	17,9	0	0
3	2005-04-02	Samedi	2,7	46,2	0	2005-04-16	Samedi	10,6	0	0
4	2005-06-14	Mardi	23	41	0	2005-06-07	Mardi	20,8	0	0
5	2005-07-13	Mercredi	24,7	39,6	0	2005-07-06	Mercredi	20,4	0	0
6	2006-05-12	Vendredi	13,8	39,6	0	2006-05-05	Vendredi	12,3	0	0
7	2007-07-20	Vendredi	16,5	67,8	0	2007-07-23	Lundi	20,1	0	0
8	2008-05-31	Samedi	16,8	47,8	0	2008-05-24	Samedi	14,7	0	0
9	2008-10-25	Samedi	8,3	44,8	0	2008-10-04	Samedi	7,1	0	0
10	2009-07-18	Samedi	18,5	47,8	0	2009-08-08	Samedi	16,2	0	0

Jour critique						Jour de référence				
11	2009-07-24	Vendredi	19	40,6	0	2009-07-20	Lundi	19,6	0	0
12	2009-07-29	Mercredi	22,1	47	0	2009-08-05	Mercredi	18,5	0	0
13	2009-08-29	Samedi	13,1	37,6	0	2009-08-22	Samedi	23,2	1,8	0

Les jours 1, 2 et 7 sont les trois journées sur la période d'étude présentant la pluviosité la plus importante, ce sont les jours extrêmes en ce qui concerne la pluie. Cependant, les jours 1 et 2 étant des jours de l'année 2004, les données ne sont pas disponibles pour les étudiants. Pour ce type d'usager ainsi que pour le nombre total de transactions, les jours de conditions extrêmes considérés sont donc les jours 7, 8, et 10.

Le Tableau 5-10 présente les valeurs prises par l'indicateur ϵ par jour critique, par type d'usager et au total. Les cellules N/A correspondent à la période pour laquelle les données pour les étudiants ne sont pas disponibles.

Tableau 5-10 - Variations d'achalandage entre jour critique et jour de référence pour la pluviosité

ϵ Comparaison Jour critique et jour de référence						
N°	Adultes	Primaire-secondaire	Collèges-universités	Total étudiants	Ainés	Total
1	-5,4%	N/A	N/A	N/A	-25,9%	N/A
2	-9,8%	N/A	N/A	N/A	-56,9%	N/A
3	-20,8%	N/A	N/A	N/A	-36,8%	N/A
4	-2,6%	N/A	N/A	N/A	-14,0%	N/A
5	1,5%	N/A	N/A	N/A	-17,2%	N/A
6	-3,1%	-5,1%	13,3%	-4,4%	-28,4%	-4,3%
7	-10,0%	-4,9%	-8,2%	-5,4%	-33,9%	-10,2%
8	-10,9%	-8,8%	-0,7%	-8,1%	-19,4%	-10,7%
9	-12,7%	-19,1%	-8,1%	-14,8%	-29,3%	-14,8%
10	-0,4%	5,9%	-5,0%	4,6%	-6,6%	0,0%
11	-13,9%	-5,5%	-9,5%	-6,2%	-13,0%	-12,8%
12	6,2%	11,6%	-1,6%	8,9%	-16,2%	5,6%
13	-21,6%	-24,5%	94,4%	-5,6%	-38,4%	-16,6%

On constate que la majorité des indicateurs sont négatifs, ce qui implique que l'achalandage du jour critique est généralement inférieur à celui de son jour de référence. Les baisses les plus importantes adviennent pour les titres aînés. Cependant, les jours extrêmes ne sont pas forcément ceux présentant la chute de fréquentation la plus importante. Comme il a été possible de constater dans les sections précédentes, l'achalandage des étudiants est plus difficilement prévisible et l'indicateur peut prendre des valeurs positives surprenantes pour ce type d'utilisateurs. Ces valeurs sont certainement dues au fait qu'un grand nombre de jours critiques ont lieu pendant les périodes de vacances, la période estivale étant aussi la plus pluvieuse, périodes pendant lesquelles la fréquentation des étudiants est faible et peu régulière comparativement aux périodes hors vacances scolaires. Relativement aux adultes, les baisses d'achalandage sont variables mais peuvent atteindre des valeurs importantes.

La Figure 5-50 représente les variations sur l'ensemble des jours critiques, correspondant aux indicateurs *E*, et sur les trois jours de pluviosité extrême.

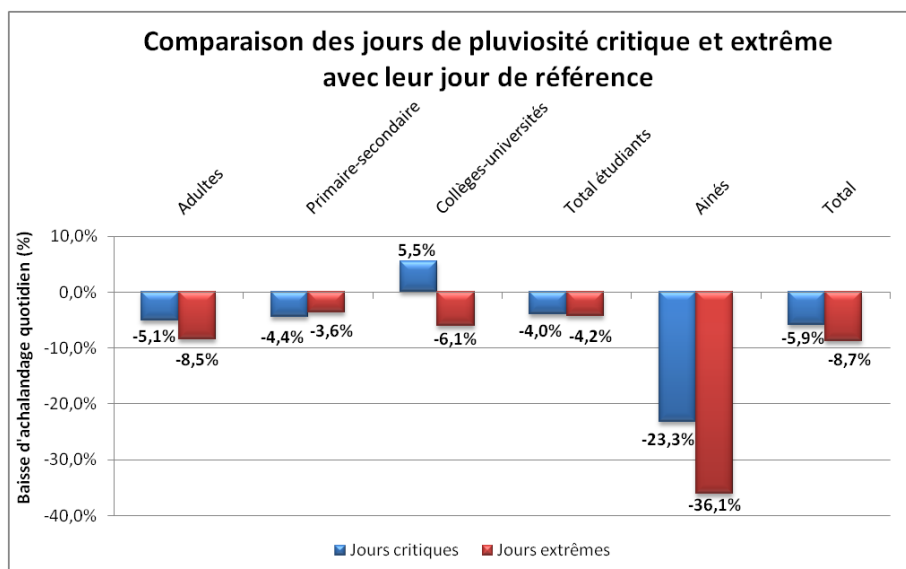


Figure 5-50 - Variations moyennes sur les jours critiques et jours extrêmes pour la pluie

Ce graphique montre que la pluviosité implique des baisses de fréquentation notables, dépassant 20% dans le cas des aînés et de presque 6% en ce qui concerne l'achalandage total. De plus, les chutes d'achalandage sont plus importantes lorsque la pluviosité est particulièrement élevée. D'après les observations précédentes, les variations obtenues pour les étudiants ne sont pas

vraiment généralisables. En revanche, on peut se fier aux variations observées pour les adultes et les aînés.

5.5.2 Neige

En ce qui concerne la neige, les jours critiques sont les jours pour lesquels il est tombé plus de 15 cm de neige. Le Tableau 5-11 rassemble les jours critiques et les jours de référence qui leur sont associés.

Tableau 5-11 - Jours critiques et jours de référence pour les chutes de neige

N°	Jour critique					Jour de référence				
	Date	Jour de la semaine	Temp. Moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Date	Jour de la semaine	Temp. Moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)
1	2005-12-16	Vendredi	-5,7	0,6	20,6	2004-08-17	Mardi	19,2	0	0
2	2006-01-21	Samedi	-5,6	4,4	16	2004-09-21	Mardi	17,9	0	0
3	2007-11-21	Mercredi	1	0,6	18	2005-04-16	Samedi	10,6	0	0
4	2007-12-03	Lundi	-8,5	0	21,2	2005-06-07	Mardi	20,8	0	0
5	2007-12-16	Dimanche	-13,9	0	35,6	2005-07-06	Mercredi	20,4	0	0
6	2008-02-01	Vendredi	-8,6	0	27,3	2006-05-05	Vendredi	12,3	0	0
7	2008-03-05	Mercredi	-8	0	28,6	2007-07-23	Lundi	20,1	0	0
8	2008-03-08	Samedi	-5,8	0	33,6	2008-05-24	Samedi	14,7	0	0
9	2008-12-09	Mardi	-10,8	2,2	22,6	2008-10-04	Samedi	7,1	0	0
10	2009-01-07	Mercredi	-8,8	0	22,4	2009-08-08	Samedi	16,2	0	0
11	2009-01-28	Mercredi	-11,8	0	18	2009-07-20	Lundi	19,6	0	0

Les jours 5, 6, 7 et 8 sont les jours extrêmes en ce qui concerne les chutes de neige.

Le Tableau 5-12 présente les valeurs prises par l'indicateur ϵ par jour critique, par type d'utilisateur et au total.

Tableau 5-12 - Variations d'achalandage entre jour critique et jour de référence pour les chutes de neige

Comparaison Jour critique et jour de référence						
N°	Adultes	Primaire- secondaire	Collèges- universités	Total étudiants	Ainés	Total
1	-12,1%	-6,6%	-3,5%	-6,4%	-42,7%	-11,1%
2	-6,6%	-9,0%	-17,0%	-10,6%	-48,4%	-11,7%
3	-0,4%	-0,1%	-0,6%	-0,2%	-5,4%	-0,4%
4	-20,2%	-62,4%	11,5%	-52,4%	-40,9%	-30,4%
5	-32,0%	-22,5%	-35,7%	-26,0%	-68,4%	-32,3%
6	-14,2%	-53,8%	1,9%	-46,6%	-27,7%	-24,9%
7	-4,6%	-9,0%	-5,1%	-7,7%	-48,8%	-6,4%
8	-11,6%	-18,8%	-4,7%	-15,9%	-33,8%	-14,5%
9	3,8%	2,6%	31,6%	10,5%	-19,4%	5,3%
10	-0,6%	-1,0%	4,0%	-0,2%	-36,7%	-1,2%
11	-0,2%	0,4%	-0,7%	0,1%	-6,4%	-0,2%

Les fortes chutes de neige impliquent des baisses d'achalandage pour tous les types d'utilisateurs et ces variations sont plus importantes que lors des jours pluvieux critiques. Les aînés représentent de nouveau le type de titre le plus impacté par les conditions météorologiques critiques. On peut de plus constater que les baisses de fréquentation atteignent des niveaux plus élevés lors des chutes de neige extrêmes. De nouveau, les titres étudiants présentent des variations moins régulières, les indicateurs pouvant présenter des hausses d'achalandage importantes comme c'est le cas lors du jour 9.

La Figure 5-51 représente les variations sur l'ensemble des jours critiques, correspondant aux indicateurs *E*, et sur les quatre jours extrêmes en ce qui concerne les chutes de neige.

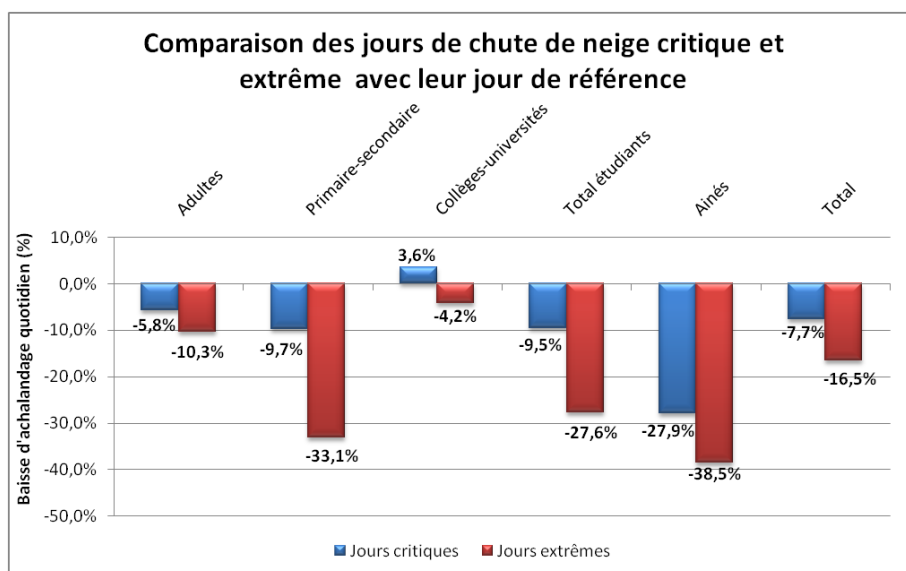


Figure 5-51 - Variations moyennes sur les jours critiques et jours extrêmes pour la neige

Ce graphique montre clairement que les chutes de neige entraînent des baisses de fréquentation, atteignant presque 30% en moyenne dans le cas des aînés et supérieure à 7% en ce qui concerne l'achalandage total. De plus, les chutes d'achalandage sont plus importantes lors des tempêtes de neige extrêmes. De nouveau, il n'est pas évident que les variations concernant les étudiants soient fiables.

5.5.3 Conclusion de l'approche selon les conditions extrêmes

Cette dernière méthode permet de compléter les deux premières approches réalisées et apporte des conclusions convaincantes en ce qui concerne la pluviosité et les chutes de neige. En effet, on a montré que lorsque ces deux variables prennent des valeurs extrêmes, fixées quotidiennement à 35 mm et plus pour la pluie et à 15 cm et plus pour la neige, l'achalandage de l'ensemble des types d'utilisateurs diminue, dans des proportions plus ou moins importantes selon le titre considéré. On peut tout de même émettre des réserves quant aux variations constatées pour les titres étudiants qui sont peu régulières, principalement les étudiants des collèges et universités. Cependant, la principale conclusion que l'on peut tirer de l'approche par conditions extrêmes est que l'achalandage global présente une baisse significative pour les deux variables et que, par type d'utilisateurs, les aînés sont les plus impactés, suivis des adultes puis des étudiants.

CHAPITRE 6 CONCLUSION

Ce mémoire démontre, dans la continuité de plusieurs études abordées lors de la revue de littérature, le potentiel considérable des données collectées grâce aux systèmes de perception par cartes à puce et l'intérêt certain pour les sociétés de transports collectifs d'adopter cette technologie. D'un point de vue opérationnel, les données accessibles grâce aux cartes à puce ouvrent de nouvelles perspectives d'analyse sur le comportement des usagers des réseaux de transport selon de multiples axes d'étude dont les résultats, une fois intégrés aux systèmes et modélisation de la demande et de planification, peuvent permettre l'optimisation des opérations. L'utilisation des cartes à puce comporte également des enjeux marketing et stratégiques en permettant non seulement d'améliorer le service en contribuant à adapter l'offre à la demande mais également en étant un outil puissant pour capter de nouveaux usagers et pour les fidéliser au réseau, ce qui peut impliquer des retombées économiques importantes. Cette recherche a été menée dans le but de caractériser et de quantifier les variations d'achalandage selon plusieurs échelles de temps afin de comprendre différents mécanismes régissant la demande. Les deux objectifs abordés, concernant la normalité des déplacements et l'impact des conditions météorologiques sur la fréquentation, visent à donner de nouvelles cartes pour comprendre les comportements des usagers et possiblement d'améliorer les modèles de prévision de la demande.

La méthodologie et les résultats présentés dans ce mémoire comportent plusieurs aspects originaux apportant différentes contributions relativement aux sujets déjà développés dans la littérature. Dans un premier temps, on peut souligner le caractère inédit d'une étude menée à partir de presque cinq années de données de cartes à puce. En effet, l'état de l'art avait permis de constater qu'aucune recherche n'avait été réalisée sur une période aussi longue. Or, c'est précisément cet important historique collecté de manière continue sur l'ensemble d'un réseau de transport collectif qui permet de déterminer l'évolution de l'achalandage de manière détaillée selon diverses échelles de temps. On a également profité de la propriété désagrégée des données de cartes à puce pour procéder à l'enrichissement des informations de déplacements avec des données liées au calendrier et des données météorologiques. L'étude des vacances et des jours fériés n'avait notamment pas été abordée dans les précédentes publications. De plus, lors de la revue de littérature, on avait constaté que la plupart des études concernaient le trafic routier en général et que peu d'entre elles proposaient des études chiffrées. Lors de cette recherche, on a

aspiré à fournir une étude complète sur la normalité des déplacements quotidiens d'un réseau de transport incluant des résultats quantifiant les variations d'achalandage ainsi que les hypothèses explicatives les plus plausibles quand aux variations observées. Enfin, la méthodologie mise en œuvre utilise plusieurs concepts issus de la littérature tout en utilisant des opérations statistiques et des outils élémentaires permettant d'obtenir des résultats clairs et concrets.

La multitude des axes d'analyse possibles à partir des données de cartes à puce fait prendre conscience de la complexité à mener une étude complète et détaillée. Dans le cadre de cette maîtrise, on s'est limité à l'étude des déplacements quotidiens en fonction des différents types d'utilisateurs, ce qui a permis d'arriver aux conclusions principales suivantes. D'après la normalité des déplacements, la répartition des types d'utilisateurs est inégale avec une grande majorité d'adultes, suivis des étudiants et d'une minorité d'ainés. À l'exception de la fréquentation des aînés, l'achalandage présente une tendance à la hausse d'année en année et des variations périodiques considérables principalement liées aux périodes vacances. Cette étude a permis de mettre en évidence les différences de comportements entre les différents types de titre ainsi que l'influence du mode de paiement. Les sociétés de transport doivent porter une attention toute particulière à leur système de tarification, dont la mise en place et l'évaluation de leurs impacts sont rendus possibles grâce aux cartes à puce, car il contribue grandement à rendre les utilisateurs « captifs » du réseau et à convaincre de nouveaux utilisateurs d'adhérer aux transports en commun. Concernant l'impact des conditions météorologiques, on a pu constater qu'il n'est pas aisé de les identifier et de les quantifier à l'échelle quotidienne en ce qui concerne les adultes et les étudiants. Néanmoins, on peut affirmer que les conditions météorologiques extrêmes concernant la pluviosité et les chutes de neige entraînent des baisses d'achalandage plus ou moins spectaculaires selon le type d'utilisateur. On peut tout de même affirmer que les utilisateurs aînés sont les plus impactés par les phénomènes météorologiques. Ainsi, en prenant en considération que la population des personnes de 65 ans et plus ne cesse de s'accroître – Statistiques Canada avance que selon les projections, la proportion des personnes âgées au Canada pourrait atteindre 25%

d'ici 2056³⁷ - les sociétés de transport ont tout intérêt à se concentrer sur la demande spécifique de ce type d'usager.

En termes de limitations, on peut avancer qu'il n'est pas certain que les méthodes et résultats de cette recherche puissent être appliqués à d'autres réseaux de transport collectifs, du moins pas sans avoir réalisé des ajustements, particulièrement en ce qui concerne les données du calendrier et les indicateurs relatifs aux conditions météorologiques. De plus, le réseau de la STO donne accès exclusivement à des autobus ce qui implique inmanquablement des comportements de fréquentation différents par rapport à un réseau donnant accès à des autobus et à un service sur rails, on peut notamment penser à la Société de Transport de Montréal qui comporte en plus des nombreuses lignes d'autobus quatre lignes de métro. Relativement à l'utilisation des données de cartes à puce, il faut être conscient que les déplacements des usagers ne possédant pas ce type de titre de transport ne sont pas pris en compte et que leur contribution à l'achalandage total n'est sans doute pas négligeable. Cependant, on peut poser l'hypothèse que ces usagers ont une fréquentation occasionnelle et qu'ainsi, leurs déplacements ne suivent pas la normalité de fréquentation que l'on s'est efforcé de mettre en évidence.

On peut avancer différentes perspectives d'utilisation des résultats apportés dans cette recherche ainsi que pour des études futures à partir de données de cartes à puce. Les études réalisées dans ce mémoire ne prennent en compte que la dimension temporelle et se restreignent à l'échelle quotidienne. Lors de prochaines recherches, il sera intéressant d'élargir l'étude grâce à la dimension spatiale disponible par les données de cartes à puce ainsi que de réduire l'échelle temporelle au niveau horaire. En effet, le comportement des usagers peut révéler une normalité des déplacements d'un point de vue spatial, au niveau des lignes du réseau et des arrêts plus ou moins fréquentés. De plus, même si on a pu constater que les conditions météorologiques en général n'avaient pas d'impact important sur la fréquentation des adultes et des étudiants, une étude au niveau horaire pourrait mettre en évidence des tendances à décaler les déplacements, notamment aux heures de pointe. Concernant la STO, les conclusions formulées dans ce

³⁷ Statistiques Canada, « La population canadienne selon l'âge et le sexe ». Consulté le 28 avril 2011. Tiré de <http://www.statcan.gc.ca/daily-quotidien/061026/dq061026b-fra.htm>.

mémoire, approfondies selon les deux propositions de recherche précédentes, pourront être intégrées dans les outils de planification et utilisées pour développer le système de tarification quant aux différents types d'utilisateur.

RÉFÉRENCES

- Agard, B., Morency, C., & Trépanier, M. (2006). Mining public transport user behaviour from smart card data. *12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing – INCOM 2006, Saint-Étienne, France* (pp. 17–19).
- Al Hassan, Y., & Barker, D. J. (1999). The impact of unseasonable or extreme weather on traffic activity within Lothian region, Scotland. *Journal of Transport Geography*, 7(3), 209-213.
- André, K., & Asad, J. (1997). The impact of adverse weather conditions on the propensity to change travel decisions: a survey of Brussels commuters. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31(3), 181-203.
- Andrey, J., Mills, B., Leahy, M., & Suggett, J. (2003). Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities. *Natural Hazards*, 28(2), 319-343.
- Attoh-Okine, N., & Shen, L. (2002). Security issues of emerging smart cards fare collection application in mass transit. In: *IEEE Vehicle Navigation and Information Systems Conference. Proceedings. In conjunction with the Pacific Rim TransTech Conference. Sixth International VNIS. "A Ride into the Future"* (pp. 523-526).
- Axhausen, K., Zimmermann, A., Schönfelder, S., Rindsfuser, G., & Haupt, T. (2002). Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary. *Transportation*, 29(2), 95-124.
- Bagchi, M., & White, P. R. (2004). What role for smart-card data from bus systems ? *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer*, 157(1), 39-46.
- Bagchi, M., & White, P. R. (2005). The potential of public transport smart card data. *Transport Policy*, 12(5), 464-474.
- Barry, J. J., Freimer, R., & Slavin, H. (2009). Use of Entry-Only Automatic Fare Collection Data to Estimate Linked Transit Trips in New York City. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2112(1), 53-61.
- Barry, J. J., Newhouser, R., Rahbee, A., & Sayeda, S. (2002). Origin and destination estimation in New York City with automated fare system data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1817(1), 183-187.

- Bayarma, A., Kitamura, R., & Susilo, Y. O. (2007). Recurrence of Daily Travel Patterns: Stochastic Process Approach to Multiday Travel Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2021(1), 55-63.
- Blythe, P. T. (2004). Improving public transport ticketing through smart cards. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer*, 157(1), 47-54.
- Bryan, H., & Blythe, P. T. (2007). Understanding behaviour through smartcard data analysis. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 160(4), 173-177.
- Changnon, S. A. (1996). Effects of summer precipitation on urban transportation. *Climatic Change*, 32(4), 481-494.
- Chira-Chavala, T., & Coifman, B. (1996). Effects of smart cards on transit operators. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1521(1), 84-90.
- Chu, K. K. A., & Chapleau, R. (2007). Imputation Techniques for Missing Fields and Implausible Values in Public Transit Smart Card Data. *Presented at the 11th World Conference on Transportation Research, Berkeley, CA*.
- Chu, K. K. A., & Chapleau, R. (2008). Enriching archived smart card transaction data for transit demand modeling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2063(1), 63-72.
- Chu, K. K. A., & Chapleau, R. (2010). Augmenting Transit Trip Characterization and Travel Behavior Comprehension with Multi-day Location-Stamped Smart Card Transactions. *Transportation Research Board 89th Annual Meeting (TRB 2010 Annual Meeting CD-ROM)*, Washington DC.
- Clarke, R. (2001). Person location and person tracking : Technologies, risks and policy implications. *Information Technology & People*, 14(2), 206-231.
- Cools, M., Moons, E., Creemers, L., & Wets, G. (2010). Changes in Travel Behavior in Response to Weather Conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2157(1), 22-28.

- Cools, M., Moons, E., & Wets, G. (2010). Assessing the Impact of Public Holidays on Travel Time Expenditure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2157(1), 29-37.
- Cravo, V. S., Cohen, J. E., & Williams, A. (2009). Impact of Weather on Transit Revenue in New York City. *Transportation Research Board 88th Annual Meeting (TRB 2009 Annual Meeting CD-ROM)*, Washington DC.
- Deakin, E., & Kim, S. (2001). *Transportation technologies: Implications for planning*: University of California Transportation Center, University of California.
- Dempsey, S. P. (2008). Privacy Issues with the Use of Smart Cards. (25), 25 pages.
- Doherty, S., & Miller, E. (2000). A computerized household activity scheduling survey. *Transportation*, 27(1), 75-97.
- Edwards, J. B. (1998). The relationship between road accident severity and recorded weather. *Journal of Safety Research*, 29(4), 249-262.
- Eisenberg, D. (2004). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 36(4), 637-647.
- Eisenberg, D., & Warner, K. E. (2005). Effects of snowfalls on motor vehicle collisions, injuries, and fatalities. *American journal of public health*, 95(1), 120.
- Guo, Z., Wilson, N. H. M., & Rahbee, A. (2007). Impact of Weather on Transit Ridership in Chicago, Illinois. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2034(1), 3-10.
- Handman, A. (2004). Weather implications for urban and rural public transit. *Second Annual User's Conference*.
- Hensher, D. A., & Reyes, A. J. (2000). Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport. *Transportation*, 27(4), 341-361.
- Hofmann, M., & O'Mahony, M. (2005a). The impact of adverse weather conditions on urban bus performance measures. *2005 IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, Vienne, Austria* (pp. 431-436).

- Hofmann, M., & O'Mahony, M. (2005b). Transfer journey identification and analyses from electronic fare collection data. *2005 IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, Vienne, Austria* (pp. 825-830).
- Hogema, J. H. (1996). Effects of rain on daily traffic volume and on driving behaviour. *TNO-report TM-96-B019, TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg, Netherlands*.
- Ibrahim, A. T., & Hall, F. L. (1994). Effect of adverse weather conditions on speed-flow-occupancy relationships. *Transportation Research Board, 1457*, 184-191.
- Jang, W. (2010). Travel Time and Transfer Analysis Using Transit Smart Card Data. *Transportation Research Board 89th Annual Meeting (TRB 2010 Annual Meeting CD-ROM), Washington DC*.
- Kalkstein, A. J., Kuby, M., Gerrity, D., & Clancy, J. J. (2009). An analysis of air mass effects on rail ridership in three US cities. *Journal of Transport Geography, 17*(3), 198-207.
- Keay, K., & Simmonds, I. (2005). The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia. *Accident Analysis & Prevention, 37*(1), 109-124.
- Khattak, A. J., & De Palma, A. (1997). The impact of adverse weather conditions on the propensity to change travel decisions: a survey of Brussels commuters. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 31*(3), 181-203.
- Khattak, A. J., Knapp, K. K., Giese, K. L., & Smithson, L. D. (2000). Safety implications of snowstorms on interstate highways.
- Khattak, A. J., Polydoropoulou, A., & Ben-Akiva, M. (1996). Commuters' normal and shift decisions in unexpected congestion: Pre-trip response to advanced traveler information systems.
- Knapp, K. K., & Smithson, L. D. (2000). Winter storm event volume impact analysis using multiple-source archived monitoring data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1700*(1), 10-16.

- Kyte, M., Khatib, Z., Shannon, P., & Kitchener, F. (2001). Effect of weather on free-flow speed. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1776(1), 60-68.
- Maze, T. H., Agarwai, M., & Burchett, G. (2006). Whether weather matters to traffic demand, traffic safety, and traffic operations and flow. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1948(1), 170-176.
- Morency, C., & Chapleau, R. (2002). *Implications of settlement patterns on travel behaviours : a totally disaggregate empirical study in the greater Montreal area*. Paper presented at the 4e conférence spécialisée en génie des transports de la Société canadienne de génie civil, Montréal, Canada, 5-8 Juin 2002, 10 pages.
- Morency, C., Trépanier, M., & Agard, B. (2007). Measuring transit use variability with smart-card data. *Transport Policy*, 14(3), 193-203.
- Reddy, A., Lu, A., Kumar, S., Bashmakov, V., & Rudenko, S. (2009). Entry-Only Automated Fare-Collection System Data Used to Infer Ridership, Rider Destinations, Unlinked Trips, and Passenger Miles. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2110(1), 128-136.
- Saporta, G. (2002). Data fusion and data grafting. *Computational statistics & data analysis*, 38(4), 465-473.
- Seaborn, C., Attanucci, J. P., & Wilson, N. H. M. (2009). Analyzing Multimodal Public Transport Journeys in London with Smart Card Fare Payment Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2121(1), 55-62.
- Shelfer, K., & Procaccino, J. (2002). Smart card evolution. *Communications of the ACM*, 45(7), 83-88.
- Trépanier, M., Barj, S., Dufour, C., & Poilpré, R. (2004). Examen des potentialités d'analyse des données d'un système de paiement par carte à puce en transport urbain. *Congrès annuel de 2004 de l'Association des transports du Canada (Québec)*, 10-14.

- Trépanier, M., & Chapleau, R. (2001). Analyse orientée-objet et totalement désagrégée des données d'enquêtes ménages origine-destination. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28(1), 48-58.
- Trépanier, M., & Morency, C. (2010). Assessing Transit Loyalty with Smart Card Data. *12th WCTR, Lisbon, Portugal*.
- Trépanier, M., Morency, C., & Blanchette, C. (2008). Les systèmes de paiement par cartes à puces: un complément aux enquêtes origine-destination? *43e congrès annuel de l'Association québécoise du Transport et des routes, Québec, 20 pages*.
- Trépanier, M., Morency, C., & Blanchette, C. (2009). Enhancing Household Travel Surveys Using Smart Card Data. *Transportation Research Board 88th Annual Meeting (TRB 2009 Annual Meeting CD-ROM), Washington DC*.
- Trépanier, M., Tranchant, N., & Chapleau, R. (2007). Individual Trip Destination Estimation in a Transit Smart Card Automated Fare Collection System. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 11(1), 1-14.
- Utsunomiya, M., Attanucci, J. P., & Wilson, N. H. M. (2006). Potential uses of transit smart card registration and transaction data to improve transit planning. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1971(1), 119-126.
- Van den Berg, P., Arentze, T., & Timmermans, H. (2010). Factors Influencing the Planning of Social Activities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2157(1), 63-70.
- Van Vugt, M., Meertens, R. M., & Van Lange, P. A. M. (1995). Car Versus Public Transportation? The Role of Social Value Orientations in a Real-Life Social Dilemma. *Journal of Applied Social Psychology*, 25(3), 258-278.

ANNEXE A MÉTHODES DE COLLECTE UTILISÉES DANS LA LITTÉRATURE

Tableau A - 1 - Méthodes de collecte de données rencontrées dans les publications

Chercheurs, année	Recherche	Source Collecte des données
Hogema (1996)	Étude de l'impact de la pluie sur l'achalandage routier et le comportement des conducteurs	Comptage par détecteur sur l'autoroute A16 aux Pays Bas (environ de Breda) : Novembre 1991 à Mars 1994.
André, Asad (1997)	Étude du comportement des usagers dans les transports dans des conditions météorologiques normales et imprévues	Enquête par questionnaire dans différentes entreprises. Bruxelles
Al Hassan, Barker (1999)	Étude de l'impact des conditions météorologiques extrêmes sur le trafic	Comptage routier dans la région d'Edimbourg
Hensher, Reyes (2000)	Étude visant à comprendre les correspondances effectuées par les usagers des transports	Household travel survey menée en 1991-1992 par le Transport Data Centre de Sydney.
Barry, Rahbee, Sayeda (2002)	Méthodologie pour une étude origine-destination	MetroCard de New York Carte à puce : 1 jour de données
Morency, Chapleau (2002)	Étude de l'influence de la configuration urbaine sur les déplacements des usagers des transports	Enquête Origine-Destination de 1987, 1993, 1998. Montréal. Recensement canadien de 1986, 1991, 1996.
Andrey, Mills, Leahy, Suggett (2003)	Influence de la météo sur la fréquence et la gravité des accidents de la route	Transport Canada Base de données des accidents de la route, 6 villes canadiennes (Halifax-Dartmouth, Ottawa, Québec,

Chercheurs, année	Recherche	Source Collecte des données
		Hamilton, Waterloo Region, and Regina)
Trépanier, Barj, Dufour, Poilpré (2004)	Étude de l'utilisation potentielle des données carte à puce	STO Carte à puce : Juillet 2003 Ottawa
Eisenberg, Warner (2005)	Déterminer l'influence des chutes de neige sur les accidents de la route aux États-Unis	Base de données américaine des accidents de la route (The Fatal Recording System), 1975 à 2000.
Agard, Morency, Trépanier (2006)	Utilisation des connaissances en planification des transports et des techniques de data mining pour une analyse comportementale des usagers en transport en commun	STO Carte à puce : 10 janvier 2005 au 1 ^{er} avril 2005 Ottawa
Kitamura, Yamamoto, Susilo, Axhausen (2006)	Étude des comportements routiniers dans les déplacements	Données Mobidrive (enquête sur 6 semaines) Allemagne
Utsunomiya, Attanucci, Wilson (2006)	Utilisations potentielles des données carte à puce à des fins de planification	Chicago Transit Authority Carte à puce : Septembre 2004 Chicago
Bayarma, Kitamura, Susilo (2007)	Étude des facteurs influant sur la récurrence dans les tendances de déplacement pour identifier des groupes de déplacement type	Données Mobidrive (enquête sur 6 semaines) Allemagne
Morency, Trépanier, Agard (2007)	Évaluer le potentiel d'exploitation des données carte à puce	STO Carte à puce : 1 ^{er} Janvier au 10 Octobre 2005 Ottawa
Chu, Chapleau (2008)	Enrichissement de données carte à puce pour établir un modèle dynamique de la	STO Carte à puce : 10 février 2005

Chercheurs, année	Recherche	Source Collecte des données
	demande	Ottawa
Barry, Freimer, Slavin (2009)	Création d'un logiciel de traitement des transactions pour générer des trajets liés	MetroCard de New York Carte à puce : Avril 2004 (deux semaines)
Cravo, Cohen, Williams (2009)	Analyse des tendances d'achalandage en considérant l'impact de la météo sur les revenus des transports en commun : différence d'impact entre métro et bus	Données basées sur le revenu de NYCT (métro et bus, excepté étudiants) : 1993 à 2007 New York
Diana, Mokhtarian (2009)	Segmentation de marché pour déterminer les différents niveaux de mobilité sur différents modes de transport	Deux sources : Enquête par courrier en 1998 (8 000 courriers envoyés, 1904 réponses utilisables). Baie de San Francisco. Enquête par internet en 2004 auprès des travailleurs à l'INRETS (550 courriels envoyés, 164 réponses). France.
Kalkstein, Kuby, Gerrity, Clancy (2009)	Étude de l'effet de la météo sur l'achalandage des transports publics en se basant sur la masse d'air	Somme des passagers quotidiens (méthode de collecte non précisée) pour trois régions américaines : Chicago (1 ^{er} avril 1998 au 31 Mai 2004), Baie de San Francisco (1 ^{er} Janvier 1998 au 28 Février 2005), Hudson-Bergen dans le New Jersey (16 Avril 2000 au 31 Décembre 2003)
Seaborn, Attanucci, Wilson (2009)	Utilisation des données carte à puce pour déterminer les trajets multimodaux empruntés par les usagers	Deux sources : Carte à puce Oyster Card London Travel Demand Survey (2006) : enquête annuelle Londres

Chercheurs, année	Recherche	Source Collecte des données
Attanucci, Mishalani, Uniman, Wilson (2010)	Mesure de la fiabilité du service en utilisant les données carte à puce	London Underground Carte à puce (Oyster card) : Février et Novembre 2007
Chu, Chapleau (2010)	Méthodologie pour améliorer la caractérisation des trajets en ajoutant une dimension "plusieurs jours" à un mois de transactions par carte à puce	STO Carte à puce : Février 2005 Ottawa
Cools, Moons, Creemers, Wets (2010)	Impact de la météo sur les comportements des usagers des transports	« Stated adaptation » : Enquête par questionnaires internet et papier (586 répondants) Flandres
Cools, Moons, Wets (2010)	Influence des vacances sur les déplacements	« Household travel survey » de 2000 (7 625 répondants) Flandres
Jang (2010)	Étude des correspondances à des fins de planification	AFC system of the National Capital Region of South Korea Carte à puce : du 23 au 29 Mars 2009 (1 semaine) Seoul
Trépanier, Morency (2010)	Utilisation des données carte à puce pour caractériser la fidélisation des usagers	STO Carte à puce : 1 ^{er} Janvier 2004 au 30 Septembre 2009 Ottawa

ANNEXE B PLAN DU RÉSEAU DE LA STO

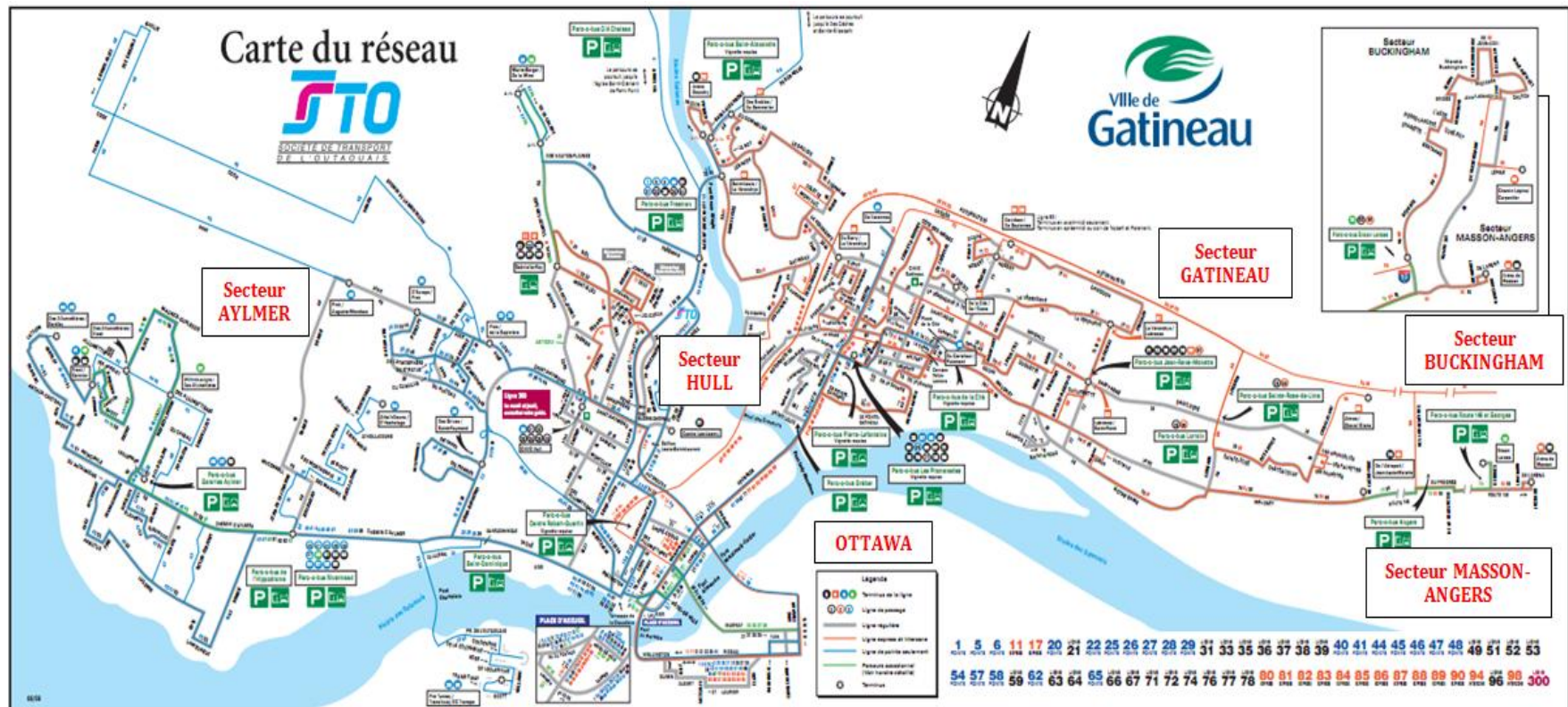


Figure B - 1 - Plan complet du réseau de la STO et ses différents secteurs

ANNEXE C TABLEAUX DE DONNÉES CONCERNANT L'ÉTUDE DE LA NORMALITÉ DES DÉPLACEMENTS

Tableau C - 1 - Achalandage total quotidien moyen par mois et par année

Moyenne du nombre de montées	Année						
Mois	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
1- Janvier	14 155	18 931	21 281	22 138	23 477	23 085	20 511
2- Février	16 056	23 021	24 434	25 313	25 684	26 460	23 464
3- Mars	16 839	21 152	25 043	23 548	18 644	26 410	21 939
4- Avril	14 587	21 655	20 691	22 076	21 944	25 215	21 028
5- Mai	13 623	19 463	22 196	22 746	22 539	22 220	20 465
6- Juin	14 090	17 807	18 950	19 059	19 109	21 131	18 358
7- Juillet	11 420	12 413	13 054	14 759	16 076	16 044	13 961
8- Août	11 616	13 279	14 218	15 017	13 313	14 295	13 623
9- Septembre	19 131	22 904	22 378	22 470	23 887	24 722	22 582
10- Octobre	19 097	22 629	23 877	25 735	28 056	24 521	23 986
11- Novembre	22 866	25 263	26 061	27 073	26 691	26 398	25 686
12- Décembre	17 257	19 490	18 856	18 359	21 092	-	19 011
Total général	15 874	19 785	20 879	21 481	21 675	22 607	20340

Tableau C - 2 - Achalandage quotidien moyen pour les titres adultes par mois et par année

Moyenne quotidienne	Type de titre Adulte			
Mois	Adultes réguliers	Adultes interzone	Adultes Express	Adultes Total
1- Janvier	10 336	3 589	758	14 683
2- Février	11 460	3 914	832	16 206
3- Mars	11 072	3 691	774	15 537
4- Avril	10 243	3 478	746	14 468
5- Mai	10 329	3 526	782	14 637
6- Juin	9 917	3 429	770	14 116
7- Juillet	8 166	2 569	611	11 346

Moyenne quotidienne		Type de titre Adulte		
8- Août	7 979	2 441	580	11 001
9- Septembre	9 810	3 453	797	14 061
10- Octobre	10 733	3 704	825	15 262
11- Novembre	11 661	3 987	853	16 501
12- Décembre	9 220	3 043	642	12 906
Total	10 068	3 399	747	14 214

Tableau C - 3 - Achalandage quotidien moyen pour les titres étudiants par mois et par année

Moyenne quotidienne par type de titre	Année						
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Primaire-Secondaire							
1- Janvier	1	4 388	5 256	5 274	5 526	5 082	4 255
2- Février	0	6 296	6 941	6 868	6 756	5 706	5 404
3- Mars	2	5 141	6 963	5 710	4 451	5 210	4 580
4- Avril	0	5 735	6 132	6 122	5 762	5 534	4 881
5- Mai	0	5 028	6 301	5 947	5 687	4 873	4 639
6- Juin	69	3 576	4 177	3 785	3 666	3 960	3 206
7- Juillet	956	1 625	1 793	1 850	1 945	1 778	1 658
8- Août	994	1 710	1 811	1 882	1 568	1 558	1 587
9- Septembre	4 487	7 451	6 869	6 670	5 705	5 812	6 166
10- Octobre	4 622	7 051	7 006	7 376	6 407	5 517	6 330
11- Novembre	6 248	7 465	7 445	7 559	5 995	5 751	6 802
12- Décembre	4 345	5 367	4 959	4 337	3 951		4 592
Collèges-Universités							
1- Janvier	755	766	850	1 076	1 107	1 747	1 050
2- Février	826	828	880	1 145	1 162	2 766	1 264
3- Mars	857	805	909	1 139	934	2 616	1 210
4- Avril	666	713	668	922	867	2 448	1 047
5- Mai	332	302	340	365	388	1 359	514
6- Juin	344	308	314	347	377	449	356
7- Juillet	302	265	259	319	360	406	318

Moyenne quotidienne par	Année						
8- Août	280	265	270	307	529	619	378
9- Septembre	938	927	1 201	1 225	2 867	2 953	1 685
10- Octobre	933	887	1 251	1 366	3 142	2 768	1 724
11- Novembre	974	948	1 309	1 378	3 032	3 051	1 707
12- Décembre	588	599	821	810	1986		961
Total Primaire-Secondaire	1 810	5 048	5 452	5 260	4 769	4 563	4 481
Total Collèges-Universités	648	632	754	863	1393	1879	1012

Tableau C - 4 - Achalandage quotidien moyen pour les aînés par mois et par année

Moyenne quotidienne	Année						
Mois	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
1- Janvier	427	439	478	505	477	370	450
2- Février	526	542	514	534	477	427	503
3- Mars	576	578	575	549	412	481	528
4- Avril	579	616	566	545	470	506	547
5- Mai	595	620	606	631	555	498	584
6- Juin	623	636	596	625	515	526	587
7- Juillet	564	596	552	574	527	501	552
8- Août	591	624	610	596	497	486	567
9- Septembre	627	639	599	591	492	510	576
10- Octobre	602	598	601	598	561	471	572
11- Novembre	605	593	634	603	529	492	581
12- Décembre	456	518	531	452	405		472
Total	564	583	572	567	493	479	544

Tableau C - 5 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année

Moyenne quotidienne	Année						
Jour de la semaine	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Lundi	19 470	23 770	24 536	24 744	26 628	27 669	24 408
Mardi	22 041	27 303	28 942	29 773	29 470	32 488	28 259
Mercredi	22 316	27 607	29 286	30 175	29 959	31 408	28 406
Jeudi	21 062	27 694	29 317	30 160	30 082	31 198	28 181

Moyenne quotidienne		Année					
Vendredi	19 003	23 741	25 723	26 502	26 419	26 462	24 594
Samedi	4 126	5 076	5 101	5 221	5 056	5 024	4 933
Dimanche	2 943	3 590	3 579	3 727	3 799	3 730	3 558
Total	15 874	19 785	20 879	21 481	21 675	22 607	20 340

Tableau C - 6 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année par titres adultes

Moyennes quotidiennes		Type de jour							
Type de titre	Année	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Total
Adultes réguliers	2004	11184	12575	12714	12029	10976	2797	2037	9200
	2005	11651	13240	13374	13369	11509	2827	2032	9696
	2006	11638	13727	13935	13864	12311	2779	2009	10016
	2007	12026	14226	14408	14422	12871	2866	2097	10421
	2008	12790	13859	14184	14208	12676	2738	2080	10382
	2009	13249	15212	14652	14671	12654	2767	2094	10775
	Total	12067	13779	13864	13740	12155	2796	2057	10068
Adultes interzone	2004	3891	4482	4518	4189	3653	145	79	2999
	2005	3953	4623	4655	4601	3750	135	78	3105
	2006	4041	4930	4979	4899	4131	129	70	3302
	2007	4241	5220	5239	5187	4386	128	74	3498
	2008	4801	5290	5452	5421	4563	131	77	3686
	2009	5023	5913	5612	5599	4574	127	73	3854
	Total	4311	5061	5066	4970	4168	133	75	3399
Adultes express	2004	770	912	920	843	718	13	4	598
	2005	834	995	1005	983	782	12	6	658
	2006	864	1073	1078	1070	872	11	4	708
	2007	926	1182	1189	1173	965	11	4	779
	2008	1084	1227	1255	1249	1029	20	11	841
	2009	1205	1428	1353	1337	1071	19	11	920
	Total	942	1131	1130	1104	903	14	7	747

Tableau C - 7 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année par titres étudiants

Moyennes quotidiennes		Type de jour							
Type de titre	Année	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Total
Étudiants Primaire et Secondaire	2004	2178	2503	2548	2469	2174	458	323	1810
	2005	5894	6851	6988	7120	6216	1373	968	5048
	2006	6423	7451	7525	7677	6742	1442	987	5452
	2007	5860	7229	7408	7420	6487	1424	984	5260
	2008	5566	6505	6541	6658	5757	1305	981	4769
	2009	5232	6553	6511	6347	5292	1130	824	4563
	Total	5193	6176	6249	6268	5437	1190	845	4481
Étudiants Collèges et Universités	2004	3891	4482	4518	4189	3653	145	79	2999
	2005	3953	4623	4655	4601	3750	135	78	3105
	2006	4041	4930	4979	4899	4131	129	70	3302
	2007	4241	5220	5239	5187	4386	128	74	3498
	2008	4801	5290	5452	5421	4563	131	77	3686
	2009	5023	5913	5612	5599	4574	127	73	3854
	Total	4311	5061	5066	4970	4168	133	75	3399

Tableau C - 8 - Achalandage quotidien moyen par jour de semaine et par année pour les aînés

Moyennes quotidiennes		Type de jour							
Type de titre	Année	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Total
Aînés	2004	641	692	723	681	693	437	294	595
	2005	647	734	721	749	715	455	299	617
	2006	650	747	747	769	749	424	276	622
	2007	647	744	763	777	753	447	304	634
	2008	619	667	670	703	681	391	285	574
	2009	637	716	698	701	657	390	286	584
	Total	640	717	721	730	709	425	291	605

ANNEXE D INFLUENCE DES VACANCES ET DES JOURS FÉRIÉS

Tableau D - 1 - Dates des jours fériés au Québec et en Ontario

Province	Dates sur la période d'étude
Québec et Ontario	1 ^{er} Janvier
Ontario	18 Février 2008 16 Février 2009
Québec et Ontario	9 Avril 2004 25 Mars 2005 14 Avril 2006 6 Avril 2007 21 Mars 2008 10 Avril 2009
Québec	12 Avril 2004 28 Mars 2005 17 Avril 2006 9 Avril 2007 24 Mars 2008 13 Avril 2009
Québec	24 Mai 2004
Ontario	23 Mai 2005 22 Mai 2006 21 Mai 2007 19 Mai 2008 18 Mai 2009
Québec	24 Juin (2004, 2005, 2006, 2008, 2009) 25 Juin 2007
Québec et Ontario	1 ^{er} Juillet (2004, 2005, 2006, 2008, 2009) 2 Juillet 2007

Province	Dates sur la période d'étude
Ontario	2 Août 2004 1 Août 2005 7 Août 2006 6 Août 2007 4 Août 2008 3 Août 2009
Québec et Ontario	6 Septembre 2004 5 Septembre 2005 4 Septembre 2006 3 Septembre 2007 1 ^{er} Septembre 2008 7 Septembre 2009
Québec et Ontario	11 Octobre 2004 10 Octobre 2005 9 Octobre 2006 8 Octobre 2007 13 Octobre 2008 12 Octobre 2009
Québec	11 Novembre
Québec et Ontario	25 Décembre

Tableau D - 2 - Calculs des variations d'achalandage des jours fériés

Jour férié		Achalandage par type de titre				Moyennes sur les deux jours précédents (par type de jour)				Comparaison			
Action de grâces		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-10-11	lundi	2165	316	591	226	17 823	685		1 335	-87,9%	-53,9%		-83,1%
2005-10-10	lundi	2313	304	1000	249	18 369	652	10 034	1 309	-87,4%	-53,4%	-90,0%	-81,0%
2006-10-09	lundi	2282	380	1006	283	19 216	813	9 670	1 821	-88,1%	-53,3%	-89,6%	-84,5%
2007-10-08	lundi	2112	329	969	282	20 371	802	9 856	1 947	-89,6%	-59,0%	-90,2%	-85,5%
2008-10-13	lundi	2330	279	970	562	23 086	776	8 908	4 475	-89,9%	-64,0%	-89,1%	-87,4%
2009-10-12	lundi	2215	317	733	571	22 228	716	8 517	4 315	-90,0%	-55,7%	-91,4%	-86,8%
Fête du Canada		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-07-01	jeudi	1742	184	234	127	18 404	826		472	-90,5%	-77,7%		-73,1%
2005-07-01	vendredi	1697	221	697	98	16 553	721		345	-89,7%	-69,3%		-71,6%
2006-07-01	samedi	1693	257	684	99	2 860	413	1 381	124	-40,8%	-37,8%	-50,5%	-19,8%
2007-07-02	lundi	1926	403	670	90	20 026	797	5 617	445	-90,4%	-49,4%	-88,1%	-79,8%
2008-07-01	mardi	2360	251	892	138	22 334	695	5 958	530	-89,4%	-63,9%	-85,0%	-73,9%
2009-07-01	mercredi	2248	239	710	148	22 862	773	6 316	593	-90,2%	-69,1%	-88,8%	-75,0%
Fête du Québec		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-06-24	jeudi	10656	429	68	273	18 404	826		472	-42,1%	-48,0%		-42,2%
2005-06-24	vendredi	9079	468	1563	246	16 553	721		345	-45,2%	-35,1%		-28,6%
2006-06-24	samedi	2105	361	1068	117	2 860	413	1 381	124	-26,4%	-12,6%	-22,6%	-5,3%
2007-06-25	lundi	11731	549	1673	294	20 026	797	5 617	445	-41,4%	-31,1%	-70,2%	-33,9%
2008-06-24	mardi	13755	482	1825	340	22 334	695	5 958	530	-38,4%	-30,6%	-69,4%	-35,8%
2009-06-24	mercredi	12981	474	1675	354	22 862	773	6 316	593	-43,2%	-38,7%	-73,5%	-40,3%
Fête Victoria/journée des patriotes		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-05-24	lundi	2255	254	0	92	18 418	699		454	-87,8%	-63,6%		-79,7%
2005-05-23	lundi	2374	293	1044	90	18 937	747		387	-87,5%	-60,8%		-76,7%
2006-05-22	lundi	2448	346	1206	113	20 298	770	7 614	436	-87,9%	-55,1%	-84,2%	-74,1%
2007-05-21	lundi	2573	412	1322	102	21 146	779	6 676	456	-87,8%	-47,1%	-80,2%	-77,6%
2008-05-19	lundi	2264	278	1208	97	22 027	753	6 172	508	-89,7%	-63,1%	-80,4%	-80,9%
2009-05-18	lundi	2582	333	1084	355	22 424	720	5 564	2 412	-88,5%	-53,7%	-80,5%	-85,3%
Lundi de Pâques		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-04-12	lundi	3034	320	0	234	18 967	759		1 041	-84,0%	-57,8%		-77,5%
2005-03-28	lundi	3470	315	1486	290	20 965	733		1 102	-83,4%	-57,0%		-73,7%
2006-04-17	lundi	3756	410	1828	367	19 740	712	9 097	972	-81,0%	-42,4%	-79,9%	-62,2%
2007-04-09	lundi	3531	357	1596	423	20 161	631	5 832	1 327	-82,5%	-43,4%	-72,6%	-68,1%
2008-03-24	lundi	3545	308	1601	361	22 819	662	8 537	1 551	-84,5%	-53,5%	-81,2%	-76,7%
2009-04-13	lundi	3602	363	1257	660	23 970	600	8 148	3 584	-85,0%	-39,5%	-84,6%	-81,6%
Noël		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-12-25	samedi	218	12	70	31	3 181	355		343	-93,1%	-96,6%		-91,0%
2005-12-25	dimanche	270	22	86	27	2 525	313	1 203	299	-89,3%	-93,0%	-92,9%	-91,0%
2006-12-25	lundi	250	34	68	28	21 062	810	8 717	1 276	-98,8%	-95,8%	-99,2%	-97,8%
2007-12-25	mardi	247	18	82	25	23 223	691	8 402	1 282	-98,9%	-97,4%	-99,0%	-98,0%
2008-12-25	jeudi	227	12	50	40	23 555	710	7 566	3 077	-99,0%	-98,3%	-99,3%	-98,7%

Fête du travail		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-09-06	lundi	1516	218	374	155	13 249	699		354	-88,6%	-68,8%		-56,2%
2005-09-05	lundi	1972	259	1008	215	13 979	794		322	-85,9%	-67,4%		-33,1%
2006-09-04	lundi	1727	243	834	158	15 282	755	2 058	321	-88,7%	-67,8%	-59,5%	-50,7%
2007-09-03	lundi	1565	268	817	164	16 275	749	1 984	386	-90,4%	-64,2%	-58,8%	-57,5%
2008-09-01	lundi	1531	247	502	278	15 479	641	1 895	847	-90,1%	-61,5%	-73,5%	-67,2%
2009-09-07	lundi	1653	210	652	357	16 442	713	2 949	1 816	-89,9%	-70,5%	-77,9%	-80,3%
Jour de l'an		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-01-01	jeudi	220	20	0	21								
2005-01-01	samedi	244	28	114	18	3 181	355		343	-92,3%	-92,1%		-94,8%
2006-01-01	dimanche	292	29	128	36	2 525	313	1 203	299	-88,4%	-90,7%	-89,4%	-88,0%
2007-01-01	lundi	311	32	139	39	21 062	810	8 717	1 276	-98,5%	-96,0%	-98,4%	-96,9%
2008-01-01	mardi	297	19	108	29	23 223	691	8 402	1 282	-98,7%	-97,2%	-98,7%	-97,7%
2009-01-01	jeudi	205	12	92	23	23 555	710	7 566	3 077	-99,1%	-98,3%	-98,8%	-99,3%
Jour du souvenir		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-11-11	jeudi	8321	559	5017	1086	19 731	811		1 278	-57,8%	-31,1%		-15,0%
2005-11-11	vendredi	7532	613	5325	963	19 365	794	10 474	1 117	-61,1%	-22,7%	-49,2%	-13,8%
2006-11-11	samedi	3080	378	1541	446	2 974	428	1 523	491	3,6%	-11,6%	1,2%	-9,2%
2007-11-11	dimanche	2480	323	1219	373	2 249	348	1 065	401	10,3%	-7,1%	14,5%	-6,9%
2008-11-11	mardi	8602	572	8439	3774	25 321	765	8 797	4 384	-66,0%	-25,2%	-4,1%	-13,9%
2009-11-11	mercredi	8312	536	8169	3570	23 767	780	8 071	3 434	-65,0%	-31,2%	1,2%	4,0%
Vendredi saint		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-04-09	vendredi	3094	506	0	336	17 656	706		963	-82,5%	-28,3%		-65,1%
2005-03-25	vendredi	3045	423	1572	296	19 369	725		1 006	-84,3%	-41,7%		-70,6%
2006-04-14	vendredi	2961	471	1759	285	19 398	734	9 682	998	-84,7%	-35,8%	-81,8%	-71,4%
2007-04-06	vendredi	2627	436	1680	417	20 446	836	9 243	1 381	-87,2%	-47,8%	-81,8%	-69,8%
2008-03-21	vendredi	2874	370	1751	367	20 780	705	6 370	1 347	-86,2%	-47,5%	-72,5%	-72,8%
2009-04-10	vendredi	3127	453	1386	806	21 768	709	8 251	3 448	-85,6%	-36,1%	-83,2%	-76,6%
Colonel by day		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-08-02	lundi	4066	498	780	181	12 779	673		369	-68,2%	-26,0%		-50,9%
2005-08-01	lundi	4530	545	1216	190	13 666	691	2 094	336	-66,9%	-21,1%	-41,9%	-43,4%
2006-08-07	lundi	5453	544	1435	189	13 525	674	2 160	328	-59,7%	-19,3%	-33,6%	-42,4%
2007-08-06	lundi	5445	560	1271	169	15 176	723	2 259	404	-64,1%	-22,5%	-43,7%	-58,2%
2008-08-04	lundi	5439	543	1423	199	15 764	644	2 229	427	-65,5%	-15,6%	-36,2%	-53,3%
2009-08-03	lundi	5418	583	1220	225	17 102	613	2 199	507	-68,3%	-4,9%	-44,5%	-55,6%
Jour de la famille		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2008-02-18	lundi	18844	408	7685	941	22 558	656	7 590	1 633	-16,5%	-37,8%	1,3%	-42,4%
2009-02-16	lundi	20795	610	6865	3005	22 766	659	5 846	3 854	-8,7%	-7,4%	17,4%	-22,0%
Lendemain de Noël		Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ	Adultes	Ainés	Prim-Sec	Coll-Univ
2004-12-26	dimanche	1701	162	984	176	2 047	223		221	-16,9%	-27,4%		-20,4%
2005-12-26	lundi	2046	206	1192	211	20 534	751	6 739	826	-90,0%	-72,6%	-82,3%	-74,5%
2006-12-26	mardi	1867	259	1057	207	21 740	817	8 726	1 178	-91,4%	-68,3%	-87,9%	-82,4%
2007-12-26	mercredi	2207	289	1316	235	22 713	699	8 478	1 245	-90,3%	-58,7%	-84,5%	-81,1%
2008-12-26	vendredi	1970	223	912	468	21 065	611	7 029	2 971	-90,6%	-63,5%	-87,0%	-84,2%

Tableau D - 3 - Calculs des variations d'achalandage des vacances

ADULTES												
ANNÉE	Moyenne sur les vacances			Moyenne sur deux semaines précédentes			Comparaison					
	Hiver	Été	Noël	Hiver	Été	Noël	Hiver	Été	Noël			
2004	13 485	9 923	7 127	14 963	12 366	14 660	-9,9%	-19,8%	-51,4%			
2005	13 644	10 561	8 019	15 302	13 732	14 744	-10,8%	-23,1%	-45,6%			
2006	14 310	10 964	7 276	16 079	14 057	15 384	-11,0%	-22,0%	-52,7%			
2007	14 956	11 884	6 508	16 343	15 072	16 206	-8,5%	-21,2%	-59,8%			
2008	15 110	11 894	6 991	16 651	15 048	17 096	-9,3%	-21,0%	-59,1%			
2009	16 518	12 514		17 516	16 450		-5,7%	-23,9%				
ÉTUDIANTS PRIMAIRE-SECONDAIRE												
ANNÉE	Moyenne sur les vacances			Moyenne sur deux semaines précédentes			Comparaison					
	Hiver	Été	Noël	Hiver	Été	Noël	Hiver	Été	Noël			
2005			1 349			6 060			-77,7%			
2006	3 109	1 866	1 236	7 552	5 612	7 232	-58,8%	-66,8%	-82,9%			
2007	2 444	1 854	1 031	6 716	5 389	6 516	-63,6%	-65,6%	-84,2%			
2008	2 437	1 786	836	6 593	5 476	6 064	-63,0%	-67,4%	-86,2%			
2009	2 087	1 684		5 892	5 415		-64,6%	-68,9%				
ÉTUDIANTS COLLÈGES-UNIVERSITÉS												
ANNÉE	Moyenne sur les vacances				Moyenne sur deux semaines précédentes				Comparaison			
	Relâche d'hiver	Été	Relâche d'automne	Noël	Relâche d'hiver	Été	Relâche d'automne	Noël	Relâche d'hiver	Été	Relâche d'automne	Noël
2004	721	323		353	890	837		927	-19,0%	-61,4%		-62,0%
2005	692	291	693	362	896	859	1 016	842	-22,7%	-66,1%	-31,8%	-56,9%
2006	674	296	1 025	382	958	869	1 372	1 200	-29,6%	-65,9%	-25,3%	-68,2%
2007	966	337	1 057	277	1 227	1 159	1 455	1 276	-21,3%	-70,9%	-27,4%	-78,3%
2008	892	442	2 650	609	1 286	1 174	3 408	3 106	-30,6%	-62,3%	-22,2%	-80,4%
2009	1 770	471	2 570		2 648	2 339	3 291		-33,1%	-79,9%	-21,9%	

ANNEXE E CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES : APPROCHE BINAIRE

Tableau D - 1 - Moyennes mensuelles annuelles pour les températures, la pluie et la neige

Année	Mois	T_{moymens} (°C)	P_{moymens} (mm)	N_{moymens} (cm)
2004	1	-15,7	1,8	3,1
	2	-7,9	0,3	3,5
	3	0,0	5,2	3,6
	4	5,3	4,0	3,3
	5	12,8	4,2	0,0
	6	17,1	6,4	0,0
	7	20,7	4,3	0,0
	8	18,6	10,1	0,0
	9	16,1	35,7	0,0
	10	8,7	5,0	0,0
	11	1,9	7,3	0,4
	12	-8,3	5,2	3,8
2005	1	-11,7	3,8	2,6
	2	-7,0	1,7	3,6
	3	-3,6	2,7	9,7
	4	7,2	11,1	0,0
	5	11,4	3,7	0,0
	6	21,2	9,6	0,0
	7	22,1	8,2	0,0
	8	21,5	6,9	0,0
	9	17,1	10,4	0,0
	10	9,5	6,7	0,0
	11	1,9	7,1	2,6
	12	-6,6	3,2	4,2
2006	1	-5,7	5,2	4,7
	2	-7,7	7,2	2,6
	3	-1,4	4,2	0,3
	4	7,3	5,3	1,5
	5	14,4	6,7	0,0
	6	18,7	7,0	0,0
	7	22,2	8,4	0,0
	8	19,6	12,0	0,0
	9	14,1	9,7	0,0

Année	Mois	T _{movmens} (°C)	P _{movmens} (mm)	N _{movmens} (cm)
	10	7,2	6,6	0,2
	11	4,1	7,1	0,6
	12	-1,7	4,0	3,1
2007	1	-7,7	4,5	1,8
	2	-11,3	0,0	2,2
	3	-2,7	6,0	4,0
	4	6,0	5,6	3,6
	5	13,5	7,3	0,0
	6	19,1	2,9	0,0
	7	19,7	9,2	0,0
	8	19,9	9,0	0,0
	9	16,3	5,1	0,0
	10	10,7	6,7	0,0
	11	0,8	3,3	6,6
	12	-7,4	14,4	6,1
2008	1	-6,3	6,0	3,9
	2	-8,7	3,7	4,3
	3	-5,3	8,8	7,1
	4	8,0	8,5	3,1
	5	12,0	5,4	0,0
	6	19,3	5,3	0,0
	7	20,5	5,9	0,0
	8	19,1	5,7	0,0
	9	15,7	4,9	0,0
	10	7,6	6,7	5,6
	11	1,2	3,7	3,7
	12	-7,7	3,9	4,5
2009	1	-13,6	0,0	5,1
	2	-7,4	12,3	1,4
	3	-1,3	4,3	0,8
	4	6,9	5,9	2,2
	5	12,2	6,5	0,0
	6	17,8	5,4	0,0
	7	19,0	12,8	0,0
	8	19,8	7,0	0,0
	9	14,6	6,1	0,0
	10	6,5	5,1	0,0
	11	4,2	2,8	1,4